



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - MN 141581

***ANALISA FATIGUE LIFE GRAVING DOCK GATE DENGAN
METODE SIMPLIFIED***

EKY SETIAHADI
NRP. 4111 100 002

Ir. Budie Santosa, M.T.
Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - MN 141581

**ANALISA *FATIGUE LIFE* GRAVING DOCK GATE DENGAN
METODE *SIMPLIFIED***

EKY SETIAHADI
NRP. 4111 100 002

Ir. Budie Santosa, M.T.
Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - MN 141581

SIMPLIFIED METHOD FOR FATIGUE LIFE ANALYSIS OF GRAVING DOCK GATE

EKY SETIAHADI
NRP. 4111 100 002

Ir. Budie Santosa, M.T.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE & SHIPBUILDING ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr Wb.

Alhamdulillah, puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT. Yang memberikan rahmat dan hidayah-Nya serta anugrah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Dan tidak lupa pula Shalawat beserta Salam tetap tercurahkan untuk Rasul junjungan alam Nabi Muhammad SAW yang telah membawa rahmat bagi sekalian alam.

Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik oleh penulis tentunya tidak lepas dari dukungan banyak pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada :

1. Ayah Erizon dan Ibu Yulisda yang telah memberikan dukungan baik secara moril dan materil.
2. Bapak Ir. Budie Santosa, M.T., selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan, ilmu, waktu, dan kesabaran dalam mengarahkan dan memberi nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Ibu Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan, ilmu, waktu, dan kesabaran dalam mengarahkan dan memberi nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D, selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS
5. Bapak Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M,Sc., Ph.D., selaku Dosen Wali penulis, atas bimbingannya selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS.
6. Kepala Laboratorium Komputasi Bapak M. Solikhan Arief, S.T., M.T., atas ijinnya menggunakan fasilitas laboratorium untuk mengerjakan tugas akhir.
7. Semua Dosen dan Staf Karyawan Tata Usaha Jurusan Teknik Perkapalan – FTK ITS.
8. Teman-teman *Steering Committee* 2013/2014, Ghaviq, Aulia, Arya, Rizal, Lukman, Wasis, dan Intan, terima kasih atas dukungan yang telah diberikan selama ini.
9. Teman-teman P51 – CENTERLINE yang tidak mungkin disebutkan satu persatu, terima kasih atas dukungan selama yang telah diberikan selama ini.

10. Segenap keluarga besar Warga HIMATEKPAL yang tidak mungkin disebutkan satu persatu, terima kasih atas semangat dan dukungan yang telah diberikan.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis, yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Penulis sadar bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Maka saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Wassalamualaikum, Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2016

EKY SETIAHADI
4111 100 002

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISA *FATIGUE LIFE GRAVING DOCK GATE* DENGAN METODE
SIMPLIFIED

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Konstruksi dan Kekuatan Kapal
Program S1 Jurusan Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

EKY SETIAHADI
NRP. 4111 100 002

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing I



Ir. Budie Santosa, M.T.
NIP. 19500402 197803 1 002



Dosen Pembimbing II



Septia Hardy Sujatanti, S.T., M.T.
NIP. 19840921 201212 2 001

SURABAYA, JANUARI 2016

ANALISA *FATIGUE LIFE* GRAVING DOCK GATE DENGAN METODE *SIMPLIFIED*

Nama : Eky Setiahadhi
NRP : 4111 100 002
Jurusan : Teknik Perkapalan
Dosen Pembimbing : Ir. Budie Santosa, M.T.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

ABSTRAK

Dalam masa operasional, *graving dock gate* selalu mendapat beban berulang yang berbeda yang bergantung dari ketinggian sarat dan ketinggian *ballast* yang ada didalam tangki *graving dock gate*. Dengan adanya beban siklis yang terjadi pada struktur *graving dock gate*, maka dapat dilakukan analisa *fatigue* (kelelahan). Analisa *fatigue* (kelelahan) dapat dilakukan dengan pendekatan Metode *Simplified Fatigue Life Assessment* untuk mendapatkan nilai *stress range*. Analisa dimulai dengan pemodelan struktur *graving dock gate* pada *software* analisa elemen hingga. Untuk mendapatkan nilai K_2 pada lokasi kelelahan yang ditinjau, dilakukan penerjemahan konfigurasi sambungan menurut *rules* BKI ke *rules* IACS. Menurut regulasi BKI, kekuatan *graving dock gate* dianggap memenuhi jika memiliki nilai tegangan maksimum tidak melebihi nilai tegangan ijin yaitu 235 N/mm^2 . Hasil analisa dari tujuh lokasi sambungan kritis menunjukkan memiliki nilai tegangan maksimum sebesar 230 N/mm^2 , dengan kata lain struktur *graving dock gate* memenuhi *class rules*. Dari hasil tegangan maksimum yang didapat dari tujuh lokasi sambungan, maka *fatigue life* (umur kelelahan) dapat dihitung. *Fatigue life* dari struktur *graving dock gate* adalah 30.78 tahun.

Kata Kunci : *Graving Dock Gate, Simplified Fatigue Life Assessment, Caisson*

SIMPLIFIED METHOD FOR FATIGUE LIFE ANALYSIS OF GRAVING DOCK GATE

Name : Eky Setiahadhi
NRP : 4111 100 002
Department : Naval Architecture and Shipbuilding
Supervisors : Ir. Budie Santosa, M.T.
Septia Hardy Sujiatanti, S.T., M.T.

ABSTRACT

During an operational period, graving dock gate always receive cyclic loads depends on the height of draught and ballast. The fatigue life analysis were calculated based on the cyclic loads on the graving dock gate structures. The fatigue life analysis could be approached by using Simplified Fatigue Life Assessment Method to get the stress range on the graving dock gate structures. The stress range is used to calculate the cumulative fatigue damage. The analysis started by modelling of graving dock gate structures using finite element analysis software. The value of K_2 is determined based on the class rules i.e. IACS rules. Permissible stress for the structure is not more than 235 N/mm^2 . Analysis result on the seven critical structure connection shows that the maximum stress is 230 N/mm^2 , it means that the graving dock gate structure is met to class rules. Based on the maximum stress in seven critical structure connection, the fatigue life of graving dock gate structures could be calculated. The fatigue life of graving dock gate structures is 30.78 years.

Keyword : Graving Dock Gate, Simplified Fatigue Life Assessment, Caisson

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR REVISI.....	ii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Hipotesis.....	3
1.7 Sistematika Laporan.....	3
BAB 2 DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 <i>Floating Caisson Graving Dock Gate</i>	6
2.3 Beban Kerja pada <i>Graving Dock Gate</i>	7
2.4 Kondisi Batas	9
2.5 Pemodelan Elemen Hingga	11
2.6 Kekuatan dan Kelelahan (<i>Fatigue Strength</i>).....	12
2.7 Jenis Tegangan	14
2.8 Metode <i>Simplified Fatigue Life Assessment</i>	16
2.9 <i>Fatigue Life</i>	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Pendahuluan	21
3.2 Studi Literatur	22
3.3 Pengumpulan Data <i>Graving Dock Gate</i>	22

3.4	Perhitungan Berat Struktur <i>Graving Dock Gate</i>	23
3.5	Perhitungan Stabilitas <i>Graving Dock Gate</i>	25
3.6	Penentuan Kondisi Pembebanan	26
3.7	Kondisi Batas	27
3.8	Pemodelan <i>Graving Dock Gate</i>	28
3.9	Pengecekan Kekuatan <i>Graving Dock Gate</i>	33
3.10	Peninjauan Lokasi Kelelahan	34
BAB 4	ANALISA DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Pengecekan Kekuatan <i>Graving Dock Gate</i>	35
4.2	Peninjauan Lokasi Kelelahan.....	39
4.3	Rekapitulasi Nilai Tegangan.....	44
4.4	Akumulasi Kerusakan Akibat Kelelahan (<i>Cumulative Fatigue Damage/ D_{fat}</i>)....	54
4.5	<i>Fatigue Life</i>	56
BAB 5	PENUTUP.....	59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	60
	DAFTAR PUSTAKA.....	61

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Keuntungan dan Kerugian <i>Floating Caisson Graving Dock Gate</i>	6
Tabel 2.2 Form Perhitungan Berat Struktur <i>Graving Dock Gate</i>	9
Tabel 2.3 Tipe Sambungan (IACS, 2010)	19
Tabel 3.1 Ukuran Utama <i>Graving Dock Gate</i>	23
Tabel 3.2 Kondisi Batas <i>Graving Dock Gate</i>	27
Tabel 3.3 Kondisi Batas Struktur Simetri	28
Tabel 3.4 Hasil <i>Solving</i> Tegangan Software Analisa Elemen Hingga.....	33
Tabel 4.1 Tekanan Hidrostatik pada Kondisi Operasional.....	35
Tabel 4.2 Tekanan Hidrostatik pada Kondisi <i>Floating</i>	36
Tabel 4.3 Pengecekan Kekuatan <i>Graving Dock Gate</i> pada Kondisi $O_{9.5m}$	36
Tabel 4.4 Revisi Tebal pada Struktur <i>Graving Dock Gate</i>	37
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan setelah Dilakukan Revisi Desain <i>Graving Dock Gate</i>	38
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Beban Hidrostatik setelah Dilakukan Revisi Desain.....	38
Tabel 4.7 Pengecekan Kekuatan setelah Dilakukan Revisi Desain <i>Graving Dock Gate</i> ...	39
Tabel 4.8 Lokasi Analisa Kelelahan	40
Tabel 4.9 Rekapitulasi Tegangan pada LC 1	45
Tabel 4.10 Rekapitulasi Tegangan pada LC 2	46
Tabel 4.11 Rekapitulasi Tegangan pada LC 3	47
Tabel 4.12 Rekapitulasi Tegangan pada LC 4	48
Tabel 4.13 Rekapitulasi Tegangan pada LC 5	49
Tabel 4.14 Rekapitulasi Tegangan pada LC 6	50
Tabel 4.15 Rekapitulasi Tegangan pada LC 7	51
Tabel 4.16 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC 1	52
Tabel 4.17 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC 2	52
Tabel 4.18 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC 3	52
Tabel 4.19 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC 4	53
Tabel 4.20 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC 5	53
Tabel 4.21 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC 6	53
Tabel 4.22 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC7	54
Tabel 4.23 Rekapitulasi Nilai D' untuk Tiap Sambungan	56
Tabel 4.24 Rekapitulasi Umur Lelah (<i>Fatigue Life</i>) Tiap Sambungan	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Floating Caisson Graving Dock Gate</i>	6
Gambar 2.2 Tumpuan jepit (<i>fix</i>).....	10
Gambar 2.3 Tumpuan roda (<i>roll</i>).....	10
Gambar 2.4 Tumpuan sendi/engsel (<i>hinge</i>)	10
Gambar 2.5 Pemodelan Struktur Simetri	11
Gambar 2.6 <i>Shell 93</i>	11
Gambar 2.7 Contoh konvergensi hasil <i>displacement</i>	12
Gambar 2.8 Jenis Tegangan pada Sebuah Sambungan.....	15
Gambar 2.9 S-N Curve (IACS, 2010).....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir	22
Gambar 3.2 Penampang Melintang <i>Graving Dock Gate</i>	24
Gambar 3.3 Kondisi Batas pada <i>Graving Dock Gate</i>	28
Gambar 3.4 Pendefinisian Jenis Elemen pada <i>Software Analisa Elemen Hingga</i>	29
Gambar 3.5 (A) Pendefinisian Massa Jenis Material (B) Pendefinisian Sifat Material	29
Gambar 3.6 Pendefinisian Ukuran Tebal Pelat.....	30
Gambar 3.7 Model <i>Graving Dock Gate</i> dalam Bentuk <i>Area</i>	30
Gambar 3.8 Model <i>Graving Dock Gate</i> dalam Bentuk Elemen	31
Gambar 3.9 Contoh Persebaran Beban Hidrostatik pada Salah Satu Kondisi Pembebanan	32
Gambar 3.10 Contoh Hasil Analisa Tegangan pada Salah Satu Kondisi Pembebanan	32
Gambar 4.1 Hasil <i>Solving</i> dengan Kondisi Pembebanan $O_{9.5m}$	37
Gambar 4.2 Sambungan antara Sekat Melintang dan Pelat Sisi.....	41
Gambar 4.3 Sambungan antara <i>Bracket</i> dan <i>Ordinary Frame</i>	42
Gambar 4.4 Sambungan antara <i>Transverse Stiffeners</i> dan <i>Side Longitudinal</i>	42
Gambar 4.5 Sambungan antara <i>Side Longitudinal</i> dan Pelat Sisi.....	43
Gambar 4.6 Sambungan antara Pelat Deck 4 dan Pelat Sisi.....	43
Gambar 4.7 Sambungan antara Deck 4 <i>Longitudinal</i> dan Penegar Sekat Melintang.....	44
Gambar 4.8 Sambungan antara Pelat Deck 4 dan Deck 4 <i>Longitudinal</i>	44
Gambar 4.9 <i>Hot-spot Area</i> LC1 pada Kondisi $O_{9.5m}$	45
Gambar 4.10 <i>Hot-spot Area</i> LC2 pada Kondisi $O_{9.5m}$	46
Gambar 4.11 <i>Hot-spot Area</i> LC3 pada Kondisi $O_{9.5m}$	47
Gambar 4.12 <i>Hot-spot Area</i> LC4 pada Kondisi $O_{9.5m}$	48

Gambar 4.13 <i>Hot-spot Area</i> LC5 pada Kondisi $O_{9.5m}$	49
Gambar 4.14 <i>Hot-spot Area</i> LC6 pada Kondisi $O_{9.5m}$	50
Gambar 4.15 <i>Hot-spot Area</i> LC7 pada Kondisi $F_{9.5m}$	51

DAFTAR GRAFIK

Grafik 3.1 Grafik Konvergensi Jumlah Elemen Terhadap Tegangan	33
---	----

DAFTAR GRAFIK

Grafik 3.1 Grafik Konvergensi Jumlah Elemen Terhadap Tegangan	33
---	----

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Merencanakan atau mendesain suatu struktur harus mengacu pada peraturan perencanaan pembangunan struktur yang ada. Peraturan ini dibuat dengan harapan memberikan standar keamanan struktur yang menjamin jika terjadi kelebihan beban atau kurangnya kekuatan. Kegagalan atau kepecahan struktur yang disebabkan ketidakpastian dalam proses perencanaan tidak dapat dihindari dan angka keamanan yang diberikan dalam perencanaan merupakan salah satu usaha untuk memperkecil terjadinya kegagalan struktur. Kegagalan struktur sangat dipengaruhi oleh beban siklis seperti beban gelombang yang merupakan beban yang dominan. Kegagalan struktur terjadi jika struktur tersebut telah melewati batas umur lelahnya yang ditandai dengan munculnya keretakan pada struktur.

Graving dock gate merupakan sebuah struktur yang dibuat untuk menahan air agar tidak masuk pada saat proses reparasi atau pembuatan kapal didalam *graving dock*. Dalam masa operasional, *graving dock gate* selalu mendapat beban yang berbeda yang bergantung dari ketinggian sarat dan ketinggian ballast yang ada didalam tanki *graving dock gate* tersebut. Beban ini bersifat terus menerus yang dapat mengakibatkan kelelahan pada strukturnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi beban siklis yang bekerja pada struktur *graving dock gate* agar kegagalan struktur pada masa operasional dapat dihindari.

Dengan adanya beban siklis yang terjadi pada struktur *graving dock gate*, maka dapat dilakukan analisa *fatigue* (kelelahan). Struktur seperti *graving dock gate* yang dibangun dengan pelat baja, mempunyai titik kritis (*hot spot*) pada tiap sambungan antar strukturnya. Analisa *fatigue* (kelelahan) dapat dilakukan dengan pendekatan elemen hingga untuk mendapatkan rentang tegangan pada struktur sehingga didapat nilai akumulasi kerusakan struktur. Metode *Simplified Fatigue Life Assessment* merupakan salah satu metode untuk menghitung nilai akumulasi kerusakan. Metode ini menggunakan probabilitas dan distribusi rentang tegangan maksimum pada struktur *graving dock gate* selama *design life*-nya. Selain itu, jenis sambungan las antar struktur juga berpengaruh pada nilai akumulasi kerusakan struktur.

Berdasarkan penjelasan diatas, maka analisa *fatigue* (kelelahan) dengan tujuan mengetahui nilai akumulasi kerusakan struktur *graving dock gate*. Dari nilai akumulasi kerusakan tersebut dapat dihitung *fatigue life* (umur lelah) sehingga kegagalan struktur pada masa pengoperasian *graving dock gate* dapat dihindari. Oleh karena itu pada tugas akhir ini dilakukan analisa nilai akumulasi kerusakan untuk mengetahui *fatigue life* (umur lelah) dari struktur *graving dock gate*. Metode yang digunakan adalah Metode *Simplified Fatigue Life Assessment*. Analisa dilakukan berdasarkan hasil pemodelan struktur *graving dock gate* pada *software* analisa elemen hingga. Diharapkan tugas akhir ini bisa menjadi referensi dalam proses pemeliharaan *graving dock gate*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat diambil beberapa permasalahan yaitu:

1. Bagaimana mengetahui kekuatan struktur *graving dock gate* menurut regulasi BKI ?
2. Bagaimana menghitung *fatigue life* struktur *graving dock gate* menggunakan Metode *Simplified Fatigue Life Assessment* ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah

1. Desain *graving dock gate* yang akan dianalisa memiliki panjang 39.4 m, lebar maksimum 4 m dan tinggi 11.7 m.
2. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* analisa elemen hingga.
3. *Design life* selama 25 tahun.
4. Pembebanan dilakukan pada kondisi sarat 9.5 m dan 4.5 m
5. Metode yang digunakan untuk mendapatkan akumulasi kerusakan adalah Metode *Simplified Fatigue Life Assessment*.

1.4 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah

1. Mengetahui kekuatan struktur *graving dock gate* menurut regulasi BKI.

2. Menghitung fatigue life struktur *graving dock gate* menggunakan Metode *Simplified Fatigue Life Assessment*.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Memahami penerapan regulasi BKI dan *software* analisa elemen hingga yang sesuai dengan tugas akhir ini.
2. Dari hasil penelitian ini diharapkan bisa menjadi referensi dalam pemeliharaan pintu dock.

1.6 Hipotesis

Kekuatan dari *graving dock gate* memenuhi persyaratan yang diberikan oleh Biro Klasifikasi Indonesia.

1.7 Sistematika Laporan

Untuk memperoleh hasil laporan tugas akhir yang sistematis dan tidak keluar dari pokok permasalahan yang telah ditentukan, maka dibuat sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian secara umum dan singkat meliputi latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, manfaat, tujuan, hipotesa dan sistematika penulisan dari Tugas Akhir yang disusun.

BAB 2 DASAR TEORI

Berisi tinjauan pustaka, yakni apa saja yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Dasar teori, persamaan-persamaan, *rules* dan *codes* yang digunakan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini diuraikan dalam bab ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini menjelaskan bagaimana langkah-langkah pengerjaan dalam penyelesaian tugas akhir ini, serta metode-metode yang digunakan. Dimulai dengan pengumpulan data graving dock gate, perhitungan variasi beban kerja, hingga input kondisi batas, beban dan hasil konvergensi pada pemodelan elemen hingga sehingga diperoleh hasil renggang tegangan dan perhitungan umur kelelahan.

BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada tahap awal, dilakukan pengecekan kekuatan pada struktur *graving dock gate*. Kemudian berdasarkan rekapitulasi tegangan untuk setiap kondisi pembebanan diperoleh nilai akumulasi kerusakan untuk tiap lokasi sambungan yang ditinjau. Setelah diperoleh akumulasi kerusakan maka dapat diperoleh umur kelelahan dari tiap lokasi yang ditinjau.

BAB 5 PENUTUP

Penutup terdiri dari dua bagian besar yaitu kesimpulan dan saran yang didapat setelah proses analisa dilakukan. Kesimpulan menjelaskan hasil yang diperoleh dari analisa *fatigue life* (umur lelah) pada struktur *graving dock gate* untuk menjawab permasalahan yang dirumuskan. Selain itu saran juga diperlukan dalam bab ini, dengan tujuan sebagai masukan-masukan pada penelitian-penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka dilakukan untuk memperoleh acuan dari penelitian sebelumnya. Dengan meninjau penelitian sejenis yang pernah dilakukan, maka diharapkan dapat diperoleh informasi dan data yang berguna pada penelitian kali ini. Beberapa literatur yang dijadikan acuan antara lain :

1. (Darmawan, 2015) telah melakukan penelitian tentang perkiraan umur struktur sekat melintang pada kapal LNG “LNGC DISHA” akibat beban sloshing menggunakan metode *simplified* dengan *design life* selama 20 tahun. Kondisi pembebanan yang diberikan berdasarkan berapa persen ruang muat yang terisi kemudian dihitung akumulasi kerusakan (*damage cumulative*) untuk memperkirakan umur struktur sekat tersebut. Hasilnya umur struktur bergantung pada probabilitas berapa persen ruang yang terisi.
2. (Kurnianto, 2012) telah melakukan penelitian tentang perkiraan umur konstruksi FPSO konversi dari tanker dengan analisis *fatigue* dengan metode yaitu *simplified* dan *determinic*. Hasilnya metode *simplified* lebih akurat, metode *simplified* merupakan metode perhitungan *fatigue* dengan mempertimbangkan probabilitas dari kejadian gelombang yang terdistribusi secara acak, dengan adanya faktor *weibull shape parameter*. Faktor *weibull* digunakan dalam perhitungan *fatigue* menurut CSR.
3. (Yugiarto, 2014) telah melakukan analisa kelelahan pada kapal tanker *single hull* berdasarkan *Common Structural Rule Oil Tanker*. Analisa dilakukan terhadap lima lokasi akhir sambungan konstruksi menggunakan bantuan *software finite element*. Hasil tegangan akibat variasi kondisi pembebanan diukur menggunakan *cumulative fatigue damage* berdasarkan aturan *Palmgren-Miner’s Rule* untuk memperkirakan umur *fatigue*.

2.2 *Floating Caisson Graving Dock Gate*

Kata “*caisson*” memiliki arti kotak, namun dalam istilah *maritime engineering* memiliki arti struktur yang berongga yang menggunakan baja atau penguat konsekrat. *Caisson* memiliki banyak desain yang bergantung kegunaannya, diantaranya *swinging*, *transversing* dan *floating* (Cornick, 1968).

Floating caisson graving dock gate ini merupakan jenis yang paling umum dari berbagai jenis *graving dock gate*. *Gate* ini berbentuk kotak yang kedap air dengan sistem *flooding* dan *dewatering*. Setelah mengisi dock dengan air yang ada di dalam *gate* dikeluarkan agar *gate* dapat naik keatas. Kemudian dapat ditarik keluar. Untuk mendudukan *gate*, *gate* ditarik kembali ke posisi dan air dimasukkan kedalam *gate*, sehingga *gate* tenggelam. Dikarenakan *gate* merupakan benda yang mengapung, stabilitas harus memadai selama fase duduk dan diapungkan.



Gambar 2.1 *Floating Caisson Graving Dock Gate*

Sebagai *gate* gravitasi yang stabil, tidak ada batasan untuk ukuran *gate* yang dirancang. *Gate* terbesar saat ini memiliki panjang 113 meter. Berikut keuntungan dan kerugian dari *floating caisson graving dock gate* pada **Tabel 2.1** :

Tabel 2.1 Keuntungan dan Kerugian *Floating Caisson Graving Dock Gate*

Keuntungan	Kerugian
(+) Biaya murah	(-) Operasionalnya lambat
(+) Dapat ditambatkan ditempatkan lain	(-) Membutuhkan tenaga lebih untuk mengoperasikannya

(+) Dapat digunakan lebih di satu dock	
(+) Dapat dibalik, sisi yang rusak dapat diperbaiki ditempat	

2.3 Beban Kerja pada *Graving Dock Gate*

2.3.1 Beban Hidrostatik

Dalam hal ini *graving dock gate* harus bisa menahan beban tekanan air dari sisi perairannya. Tekanan hidrostatik yang dialami oleh *graving dock gate* berasal dari tekanan air laut dan tekanan tangki *ballast* didalamnya.

Berdasarkan literatur fisika dasar, tekanan didalam air laut bergantung pada kedalaman, makin dalam letak suatu tempat didalam air laut maka semakin besar tekanan pada tempat itu. Gaya gravitasi menyebabkan air laut dalam suatu tempat tertarik ke bawah. Tekanan air laut yang hanya disebabkan oleh beratnya dinamakan tekanan hidrostatik. Secara umum tekanan hidrostatik diperoleh dari persamaan berikut ini :

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad [\text{kN/m}^2]$$

Dimana : p = tekanan hidrostatik $[\text{kN/m}^2]$

ρ = massa jenis air laut $[\text{ton/m}^3]$

g = percepatan gravitasi $[\text{m/s}^2]$

h = tinggi titik terhadap permukaan air laut $[\text{m}]$

2.3.2 Beban Berat *Graving Dock Gate*

Berdasarkan Hukum Archimedes mengenai gaya apung, maka terdapat tiga kondisi yang menunjukkan kedudukan benda apung, yang dipengaruhi oleh gaya apung (F_a) dan berat dari benda tersebut (W), yaitu :

- Benda Mengapung ketika $F_a = W$
- Benda Melayang ketika $F_a = W$
- Benda Tenggelam ketika $F_a < W$

Selama masa pengerjaan (reperasi ataupun *new building*) dilakukan di *graving dock*, maka kondisi pada nomor tiga haruslah terpenuhi untuk memastikan bahwa *graving*

dock gate tepat duduk pada dudukannya. Kondisi ini dapat diperoleh dengan menentukan nilai muatan tangki minimum yang dibutuhkan oleh pintu dok. Nilai minimum ini diperoleh dengan memecah komponen berat pintu dok sebagai berikut :

$$W = W_{\text{kontruksi}} + W_{\text{ballast}} [\text{ton}]$$

dan

$$F_a = \text{Gaya angkat yang dibutuhkan untuk mengapungkan } W$$

Sehingga untuk menjaga posisi pintu dok tetap duduk pada pondasinya, nilai W harus selalu lebih besar dibandingkan dengan nilai F_a dalam berbagai kondisi. Nilai W dapat diatur apabila kita mengetahui berat dari kontruksi dan tangki *ballast* minimal yang dibutuhkan.

1) Berat Tangki *Ballast*

Seperti yang disebutkan pada literatur mengenai kapal, gaya angkat pada pintu dok dapat dituliskan sebagai berikut :

$$F_a = \Delta = \rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_p [\text{ton}]$$

Dimana :

Δ	=	displasemen	(ton)
ρ	=	massa jenis air laut	(ton/m ³)
L	=	panjang <i>graving dock gate</i>	(meter)
B	=	lebar <i>graving dock gate</i> pada sarat T	(meter)
T	=	sarat <i>graving dock gate</i>	(meter)
C_B	=	koefisien penampang pada sarat T	

Sehingga nilai muatan tangki maksimum yang dibutuhkan untuk mengapungkan *graving dock gate* adalah :

$$W_{\text{ballast}} = \rho \cdot L \cdot B \cdot T \cdot C_B - W_{\text{kontruksi}} [\text{ton}]$$

2) Berat Kontruksi *Graving Dock Gate*

Komponen struktur konstruksi *graving dock gate* terdiri dari material baja sebagai konstruksi utama. Untuk memperoleh berat total konstruksi, maka dilakukan penguraian dari masing–masing detail konstruksi sesuai **Tabel 2.2** :

Tabel 2.2 Form Perhitungan Berat Struktur *Graving Dock Gate*

Item	n	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm ²)	t (mm)	Profil	w ₁ (mm)	t ₁ (mm)	w ₂ (mm)	t ₂ (mm)	W (ton)
Pelat Alas											
Pembujur Alas											
Wrang Pelat											
.....											
i											
											Σ

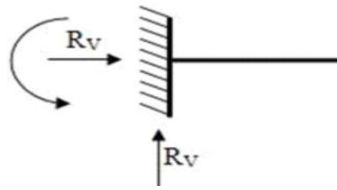
2.4 Kondisi Batas

Kondisi batas harus ditentukan agar matrik kekakuan global tidak singular dan struktur tidak bergerak sebagai benda pejal (*rigid body*). Sifat-sifat gaya reaksi yang timbul pada suatu benda yang mendapat beban tergantung bagaimana benda tersebut ditumpu atau bagaimana benda tersebut disambung dengan benda lain (Tawekal, 2010). Ada beberapa jenis tumpuan pada struktur, namun yang pada umumnya tumpuan yang sering kita jumpai diantaranya tumpuan jepit (*fix*), roda (*roll*), dan tumpuan sendi/engsel (*hinge*).

2.4.1 Tipe Tumpuan

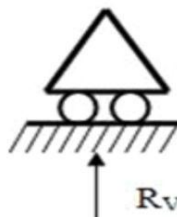
Seperti yang telah dijelaskan diatas, jenis tumpuan yang sering dijumpai adalah tumpuan jepit (*fix*), roda (*roll*), dan tumpuan sendi/engsel (*hinge*). Berikut penjelasan mengenai perbedaan ketiganya.

1. Tumpuan jepit (*fix*), dapat menahan gaya dalam segala arah dan dapat menahan momen. Dengan demikian tumpuan jepit mempunyai tiga gaya reaksi yaitu F_v , F_h , dan M .



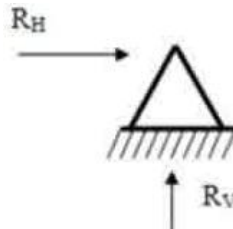
Gambar 2.2 Tumpuan jepit (*fix*)

2. Tumpuan roda (*roll*), hanya dapat menerima gaya dalam arah tegak lurus roll dan tidak mampu menahan momen. Jadi, tumpuan roll hanya mempunyai satu gaya reaksi yang tegak lurus dengan roll yaitu F_v .



Gambar 2.3 Tumpuan roda (*roll*)

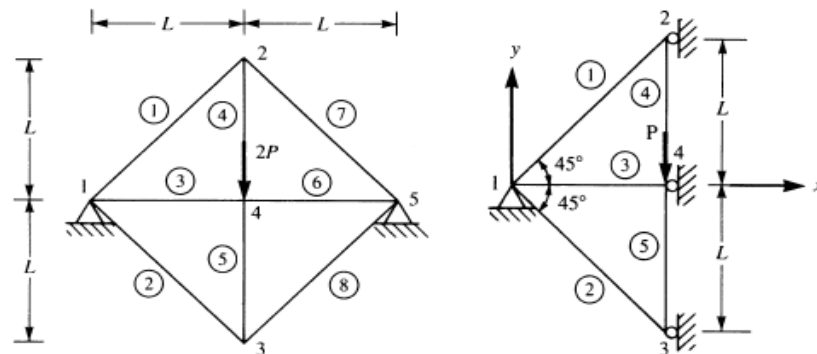
3. Tumpuan sendi/engsel (*hinge*), dapat menerima gaya dari segala arah tetapi tidak mampu menahan momen. Dengan demikian tumpuan sendi mempunyai dua gaya reaksi yaitu F_h dan M .



Gambar 2.4 Tumpuan sendi/engsel (*hinge*)

2.4.2 Kondisi Batas pada Struktur Simetri

Kondisi batas pada struktur simetri atau *reflective symmetry* digunakan untuk mempermudah solusi dari suatu persoalan elemen hingga. *Reflective symmetry* memiliki kesamaan pada ukuran, bentuk, posisi pembebanan, *material properties* dan kondisi batas. Total matriks kekakuan dan persamaan dari elemen hingga dapat berkurang dan disisi lain, lama pengerjaan persamaan dapat berkurang (Logan, 2007).



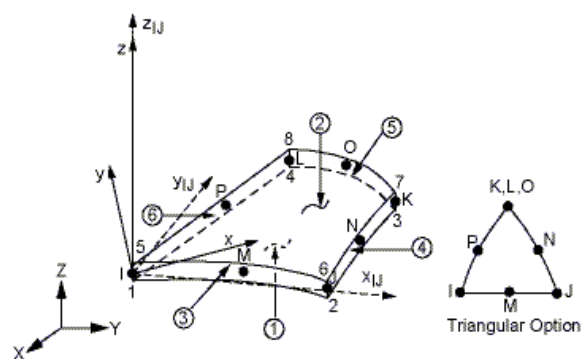
Gambar 2.5 Pemodelan Struktur Simetri

2.5 Pemodelan Elemen Hingga

Pemodelan elemen hingga pada struktur *graving dock gate* ini dilakukan dengan menggunakan *software* analisa elemen hingga. Pemodelan ini secara umum dapat memberikan hasil untuk evaluasi kekuatan dari struktur *graving dock gate*.

2.5.1 Elemen dan Karakteristiknya

Elemen yang digunakan dalam analisa ini adalah *Shell 93*. *Shell 93* digunakan pada keseluruhan struktur. *Shell 93* pada khususnya baik digunakan untuk pemodelan pelat *bending*. Elemen ini memiliki delapan *node* (I, J, K, L, M, N, O, P) dan enam derajat kebebasan di tiap *node* (UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ). *Shell 93* dipakai dalam pemodelan pelat kapal terutama karena kemampuannya dalam pemodelan pelat kapal yang umumnya lengkung memiliki plastisitas, *thoughness*, tingkat defleksi yang tinggi dan kemampuan *strain* yang besar. Serta bentuk terdeformasi yang kuadratik memungkinkan perhitungan ditengah elemen lebih akurat.

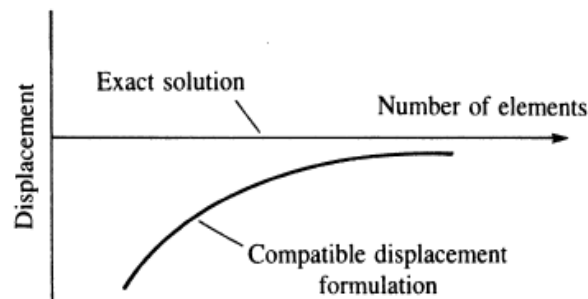


Gambar 2.6 Shell 93

2.5.2 Konvergensi

Hasil perhitungan elemen hingga hampir mendekati dengan hasil perhitungan eksak di node poinnya. Alasan mengapa nilai-nilai nodal tersebut dapat mendekat solusi eksak bahwa gaya yang bekerja pada nodal disetiap elemen dihitung atas dasar energi beban ekuivalen yang didistribusikan merata pada setiap elemen. Meskipun nilai perpindahan nodal tersebut sesuai dengan solusi eksak, namun nilai-nilai dilokasi antar nodal buruk untuk jumlah elemen yang sedikit karena hal tersebut menggunakan perpindahan fungsi linier dalam setiap elemen, sedangkan solusi eksak menggunakan fungsi kuadrat (Logan, 2007).

Untuk menentukan jumlah akurasi hasil yang bisa diterima dalam suatu analisis elemen hingga adalah melakukan uji konvergensi terhadap hasil yang diperoleh. Jika dilihat dari **Gambar 2.7**, jumlah elemen bertambah dengan kata lain ukuran mesh elemen berkurang. Maka diindikasikan bahwa jumlah elemen berpengaruh untuk mendapatkan hasil yang mendekati hasil eksak. Uji konvergensi dilakukan sampai didapat perbedaan yang cukup kecil antara tiap nilai variabel yang diuji terhadap jumlah elemen.



Gambar 2.7 Contoh konvergensi hasil *displacement*

2.6 Kekuatan dan Kelelahan (*Fatigue Strength*)

2.6.1 Definisi

Dikutip dari (Yugiarto, 2014), kelelahan (*fatigue*) adalah akumulasi kerusakan material yang disebabkan oleh beban siklik. Banyak bagian dari struktur yang harus bertahan dari tegangan yang menimpanya selama masa operasinya. Contoh dari beban jenis ini pada *marine structure* adalah tegangan yang berhubungan dengan beban akibat gelombang. Biasanya, amplitudo beban pada tiap *cycle* tidak cukup besar untuk membuat suatu struktur mengalami kegagalan. Namun kegagalan dapat terjadi jika akumulasi

kerusakan yang dialami oleh struktur mencapai suatu level yang kritis. Umur kelelahan suatu detail struktur berhubungan secara langsung dengan proses kelelahan, yang dikelompokkan menjadi 3 tahap sebagai berikut :

- *Initial Crack*

Hal ini bergantung pada karakteristik material. Untuk kondisi tertentu cacat las selalu muncul internal (didalam *base metal* atau *filler metal*) maupun dipermukaan las. Cacat las ini dapat memicu retak untuk merambat dan kebanyakan muncul dari permukaan las.

- *Crack propagation* (perambatan retak)

Dibandingkan dengan *initial crack*, tahap perambatan retak ini lebih mudah dipahami dan ada teori yang dapat dijadikan sebagai acuan untuk memodelkan perambatan retak (*crack growth*) ini yaitu *fracture mechanics* (mekanika kepecahan). Parameter utama yang mengatur perambatan retak ini adalah rentang tegangan pada detail struktur yang dianalisis. Disamping itu, bentuk geometri dari las-lasan serta ukuran dari *initial crack* berdampak besar pada umur kelelahan dari detail struktur. Pada struktur las-lasan, *fatigue cracks* hampir selalu berawal dari cacat las dan periode perambatan retaknya dihitung untuk lebih dari 90% dari umur kelelahannya.

- *Final Fracture*

Kegagalan karena kepecahan suatu detail struktur akan terjadi ketika ukuran retak merambat hingga ke ukuran yang kritis. Kepecahan *final* bergantung pada beberapa parameter seperti tingkat tegangan, ukuran retak dan juga kekerasan material.

Suatu kegagalan kelelahan (*fatigue failure*) disebut sebagai “*low cycle fatigue*” jika jumlah kejadian untuk menuju kegagalan struktur adalah kurang dari 10^4 . Sedangkan jumlah kejadian dari “*high-cycle fatigue*” biasanya mencapai jutaan kali kejadian, bahkan lebih. Untuk Struktur bangunan laut, hal ini telah menjadi perhatian khusus.

2.6.2 Kekuatan Struktur Baja

Menurut *rules* BKI tahun 2014, sebuah struktur baja dianggap memiliki kekuatan yang memadai jika tegangan yang terjadi pada strukturnya tidak melebihi tegangan ijin yang disyaratkan. Nilai tegangan ijin diambil dari nilai *minimum nominal upper yield point* (R_{EH}) dibagi dengan *safety factor*. Untuk material ASTM A36 memiliki nilai R_{EH} 235 N/mm². Sementara nilai *safety factor* tergantung dari kelas yang digunakan. Dengan kata

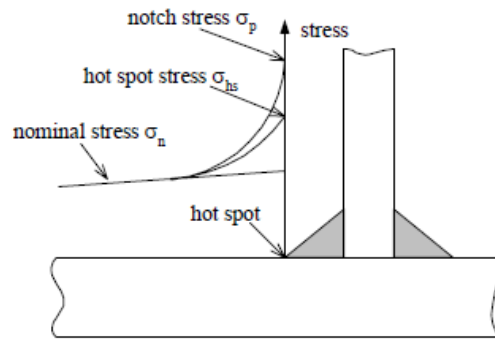
lain, jika struktur baja tersebut memiliki tegangan maksimum melebihi tegangan ijin tersebut dianggap “tidak memenuhi” kriteria BKI.

2.7 Jenis Tegangan

Ketika struktur dikenakan beban yang terus meningkat dan akhirnya gagal. Hal ini relative mudah untuk menentukan titik kegagalan suatu struktur untuk kekuatan tarik tunggal. Data-data kekuatan material dapat menjadi acuan pengidentifikasi kekuatan ini. Namun ketika struktur dibebani dengan sejumlah beban dalam arah yang berbeda, beberapa diantaranya tarik dan beberapa diantaranya geser, maka penentuan titik kegagalan lebih rumit (Roymech, 2011).

Berdasarkan jenis tegangan yang dipakai dalam perhitungan, perkiraan fatigue disebut sebagai “pendekatan *nominal stress*”, “pendekatan *hot spot stress*”, dan “pendekatan *notch stress*” (Wægter, 2009). Berikut penjelasan masing-masing tegangan menurut (Blakogevic & Domazet, 2010),

- 1) *Nominal stress*, tegangan yang diperoleh dari hasil *finite element method* dengan *meshing* yang agak kasar berdasarkan pada beban yang digunakan dan dimensi komponen struktur. Ketika menghitung *nominal stress*, meningkatnya tegangan karena adanya diskontinuitas pada geometri struktur dan kekuatan las-lasan dapat diabaikan.
- 2) *Hot-spot stress*, tegangan lokal pada daerah kritis (*hot spot*) dalam detail struktur dimana retak kelelahan dapat terjadi. Dalam kasus ini meningkatnya tegangan karena perubahan komponen geometri cukup diperhitungkan, namun efek dari kualitas las-lasan tidak diperhatikan.
- 3) *Notch stress*, tegangan lokal yang meningkat pada suatu notch, yaitu pada kaki las-lasan atau didaerah tepi dari suatu potongan. Pendekatan *notch stress* memperhitungkan konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh kualitas las-lasan.



Gambar 2.8 Jenis Tegangan pada Sebuah Sambungan

Dalam *software* analisa elemen hingga terdapat jenis tegangan yang dipakai untuk menghitung *fatigue life* yaitu *Von-Misses Stress*. Dikutip dari (Ramadhan, 2010), pada elemen tiga dimensi, bekerja tegangan-tegangan searah sumbu x, y, dan z. Pada tiap-tiap sumbu dapat diketahui tegangan utama ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) yang dihitung dari komponen tegangan dengan persamaan berikut,

$$\begin{bmatrix} \sigma_x - \sigma_0 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y - \sigma_0 & \sigma_{yz} \\ \sigma_{xz} & \sigma_{yz} & \sigma_z - \sigma_0 \end{bmatrix} = 0$$

dengan,

σ_0 = tegangan utama yang bekerja pada sumbu

σ_x = tegangan arah sumbu x

σ_y = tegangan arah sumbu y

σ_z = tegangan arah sumbu z

σ_{xy} = tegangan arah sumbu xy

σ_{xz} = tegangan arah sumbu xz

σ_{yz} = tegangan arah sumbu yz

Penggabungan tegangan-tegangan utama pada suatu elemen merupakan suatu cara untuk mengetahui nilai tegangan maksimum yang terjadi pada *node* tersebut. Salah satu cara mendapatkan tegangan gabungan adalah dengan menggunakan formula *Von-Misses Stress*,

$$\sigma_e = \sqrt{\left(\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]\right)}$$

dengan,

σ_e = tegangan maksimum

σ_1 = tegangan utama 1

σ_2 = tegangan utama 2

σ_3 = tegangan utama 3

2.8 Metode *Simplified Fatigue Life Assessment*

2.8.1 Perhitungan Akumulasi Kerusakan (*Cumulative Damage*)

Penaksiran ini menggunakan hukum *Palmgren-Miner*, yang dinyatakan sebagai berikut :

$$D_{fat} = \int_0^{\infty} \frac{N_0 f(S)}{N(S)} dS$$

Dengan substitusi nilai $N = K_2 \cdot S^{-m}$ kedalam persamaan diatas, maka akan didapat persamaan selanjutnya yaitu :

$$D_{fat} = \frac{N_0}{K_2} \int_0^{\infty} S^m f(S) dS$$

Untuk *marine structure*, fungsi probabilitas dari rentang tegangan dapat digambarkan dengan dua parameter distribusi Weibull sebagai berikut :

$$f(S) = \frac{\xi}{A} \left(\frac{S}{A}\right)^{\xi-1} \exp\left(-\frac{S}{A}\right)^{\xi}$$

Dimana A dan ξ adalah parameter skala dan parameter bentuk (*shape*). Dengan mensubstitusi nilai $f(S)$, maka akan didapat persamaan selanjutnya :

$$D_{fat} = \frac{N_0}{K_2} \int_0^{\infty} S^m \frac{\xi}{A} \left(\frac{S}{A}\right)^{\xi-1} \exp\left(-\frac{S}{A}\right)^{\xi} dS$$

Dimana

$$x = \left(\frac{S}{A} \right)^\xi$$

Maka akan didapat persamaan sebagai berikut :

$$D_{fat} = \frac{N_0}{K_2} A^m \int_0^\infty x^{1+m/\xi} \exp(-x) dx$$

Gamma Function dinyatakan sebagai berikut :

$$\Gamma(k) = \int_0^\infty e^{-x} x^{k-1} dx$$

Dengan mensubstitusikan persamaan $\Gamma(k)$ ke persamaan D_{fat} , maka akan didapat persamaan berikutnya :

$$D_{fat} = \frac{N_0}{K_2} A^m \Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right)$$

Dimana A adalah

$$A = \left[\frac{S_0^\xi}{\ln N_0} \right]^{1/\xi}$$

Sehingga akan diperoleh persamaan akumulasi kerusakan (*cumulative damage*) jangka panjang adalah sebagai berikut :

$$D_{fat} = \frac{N_0}{K_2} \left[\frac{S_0^\xi}{\ln N_0} \right]^{m/\xi} \Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right)$$

Dimana :

N_0 = Total jumlah siklus dalam periode jangka panjang selama masa hidup

S_0 = Rentang tegangan maksimum dalam setiap N_0 cycles

ξ = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* untuk siklus tegangan berulang

K_2, m = Parameter material dari S-N Curve

Γ = *Gamma function*, didapat dengan menggunakan kalkulator online dan dapat diakses di keisan.casio.com

2.8.2 S-N Curve

Dikutip dari (Kurnianto, 2012), menurut (IACS, 2010), kekuatan sambungan baja lasan sehubungan dengan kekuatan dicirikan dengan kurva S-N, yang memberikan hubungan antara rentang tegangan yang terjadi pada suatu detail struktur dan jumlah siklus beban amplitudo konstan untuk kegagalan. Untuk detail struktur kapal, kurva S-N digambarkan dengan :

$$S^m \cdot N = K_2$$

Dimana :

S = Rentang tegangan

N = Perkiraan jumlah siklus untuk kegagalan dibawah rentang tegangan S

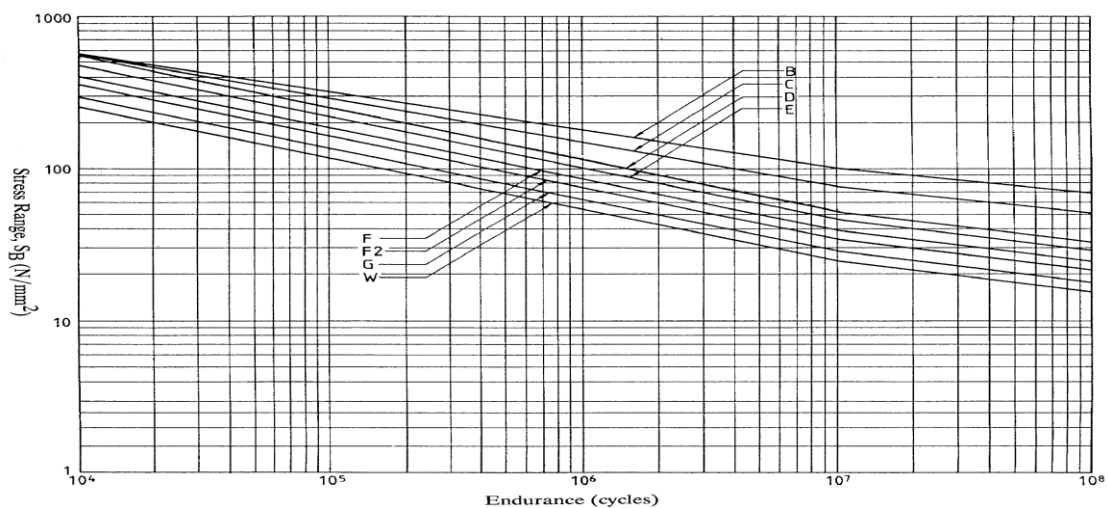
m = Konstanta yang bergantung pada jenis material dan las-lasan, jenis pembebanan, konfigurasi geometris dan kondisi lingkungan (udara atau air laut)

K_2 = Konstanta yang bergantung pada jenis material dan las-lasan, jenis pembebanan, konfigurasi geometris dan kondisi lingkungan (udara atau air laut)

Nilai K_2 dan m dapat dilihat pada **Tabel 2.3** berikut ini. Nilai K_2 dan m berbeda untuk tiap-tiap jenis tipe sambungan.

Tabel 2.3 Tipe Sambungan (IACS, 2010)

Class	K_1			m	Standard Deviation		K_2	S_q N/mm^2
		\log_{10}	\log_e		\log_{10}	\log_e		
B	2.343 E15	15.3697	35.3900	4.0	0.1821	0.4194	1.01 E15	100.2
C	1.082 E14	14.0342	32.3153	3.5	0.2041	0.4700	4.23 E13	78.2
D	3.988 E12	12.6007	29.0144	3.0	0.2095	0.4824	1.52 E12	53.4
E	3.289 E12	12.5169	28.8216	3.0	0.2509	0.5777	1.04 E12	47.0
F	1.726 E12	12.2370	28.1770	3.0	0.2183	0.5027	0.63 E12	39.8
F2	1.231 E12	12.0900	27.8387	3.0	0.2279	0.5248	0.43 E12	35.0
G	0.566 E12	11.7525	26.0614	3.0	0.1793	0.4129	0.25 E12	29.2
W	0.368 E12	11.5662	26.6324	3.0	0.1846	0.4251	0.16 E12	25.2



Gambar 2.9 S-N Curve (IACS, 2010)

Bentuk kurva S-N pada **Gambar 2.9** adalah untuk sambungan las. Kurva S-N mempresentasikan batas bawah dari sebaran data sebesar 95% dari semua hasil uji yang dilakukan. Klas untuk sambungan las yang cocok dengan detail sambungan dari struktur kapal kebanyakan adalah klas F dan F2. Menurut (Bai, 2003) dengan meningkatnya kualitas hasil lasan ini, sambungan tersebut dapat dikategorikan kedalam klas F2 jika dilakukan dengan penetrasi penuh. Namun, pada Tugas Akhir ini, terdapat klas E dan F dalam sambungan las *graving dock gate*.

2.8.3 Perhitungan Distribusi Tegangan Weibull

Menurut (Blakogevic & Domazet, 2010) nilai dari distribusi tegangan *Weibull* memberikan hasil yang signifikan terhadap perhitungan *cumulative fatigue damage*. Nilai ξ bervariasi tergantung prosedur yang dipakai yaitu 0.7 sampai 1.3

$$\xi = 1.1 - 0.35 \frac{L - 100}{300}$$

dimana L adalah panjang struktur dalam meter.

2.9 Fatigue Life

Rasio *cumulative fatigue damage* (D_{fat}) dapat diubah ke dalam perhitungan umur kelelahan menggunakan persamaan dibawah ini (IACS, 2010). Dalam pola ini, umur kelelahan yang didapat harus mendekati atau lebih besar dari *design life* kapal, namun dalam hal ini *design life graving dock gate*. Berikut persamaannya :

$$fatigue\ life = \frac{Design\ Life}{D_{fat}}$$

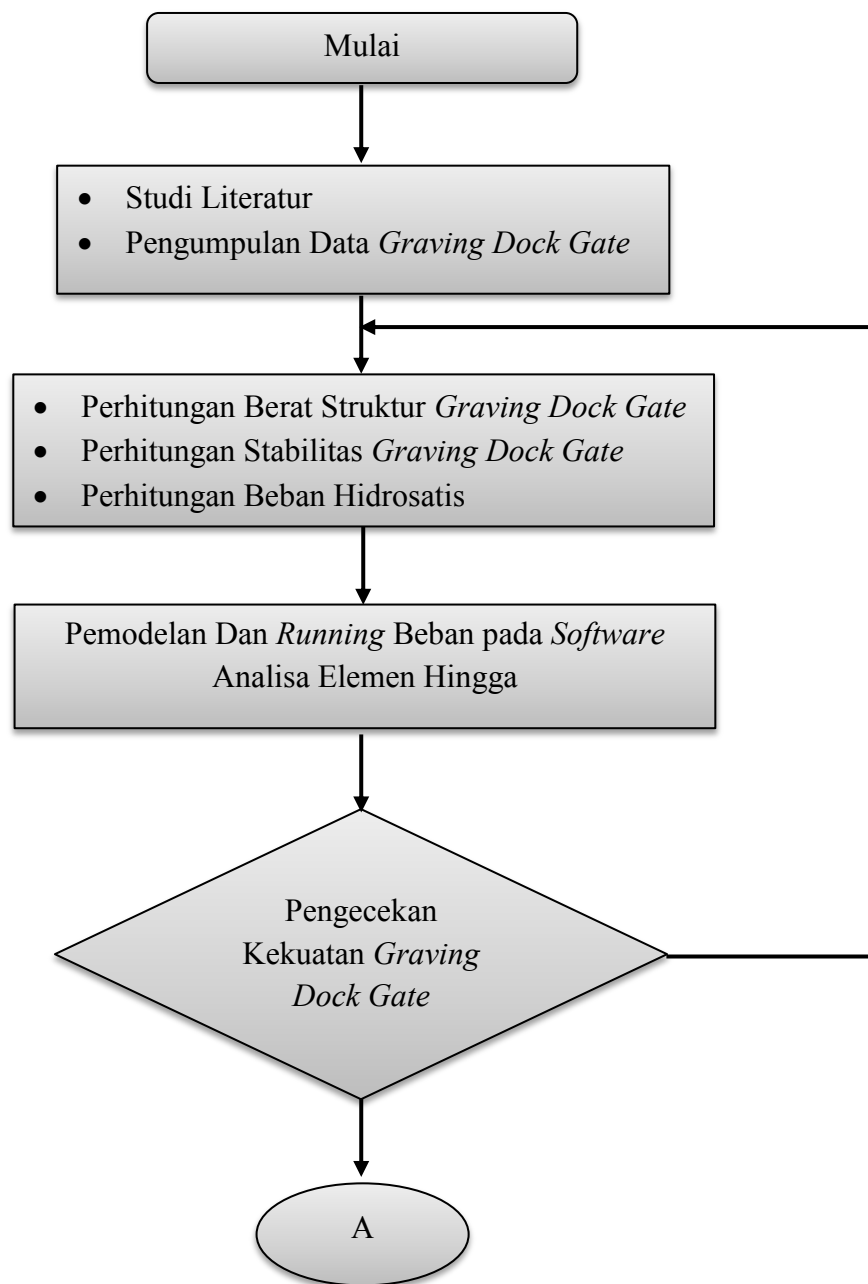
dimana hasil *fatigue life* dalam tahun.

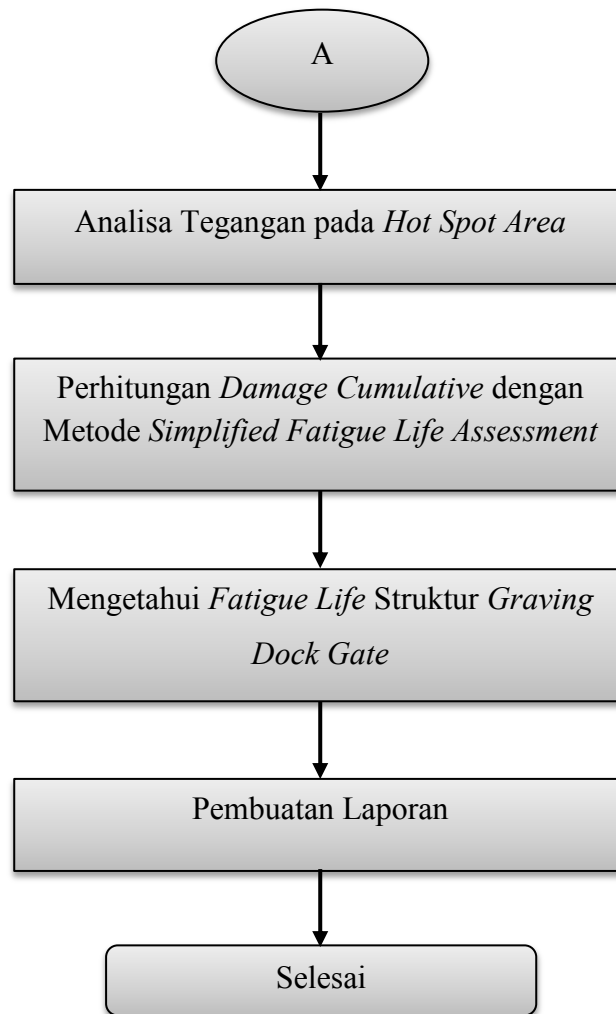
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Metodologi penelitian menunjukan metode-metode yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan pada tugas akhir ini. Penggunaan metode ini dilakukan sesuai dengan langkah-langkah pekerjaan yang diuraikan sebagai berikut :





Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Studi Literatur

Studi literatur terbagi kedalam dua bagian, yaitu tinjauan pustaka dan dasar teori. Tinjauan pustaka digunakan untuk memperoleh pengalaman dari tugas akhir yang sudah dilakukan sebelumnya. Hal ini dapat berupa metode serta langkah penyelesaian masalah dan informasi yang dibutuhkan. Dasar teori berisikan pengertian dan acuan dari variabel yang digunakan dalam tugas akhir ini.

3.3 Pengumpulan Data *Graving Dock Gate*

Pemodelan *graving dock gate* dilakukan berdasarkan data ukuran utama dan *construction profile* dari *graving dock gate*. *Graving dock gate* yang menjadi objek tugas

akhir ini merupakan tahap desain dan belum dibangun. Data ukuran utama dari *graving dock gate* yang menjadi objek tugas akhir ini terdapat pada **Tabel 3.1**. Penampang melintang *graving dock gate* dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.

Tabel 3.1 Ukuran Utama *Graving Dock Gate*

<i>Main Dimension</i>		
<i>Length overall (LOA)</i>	39.4	meter
<i>Maximum Breadth (B_{max})</i>	4.0	meter
<i>Height (H)</i>	11.7	meter
<i>Minimum Draft (T_{min}) (design)</i>	4.5	meter
<i>Maximum Draft (T_{max}) (design)</i>	9.5	meter

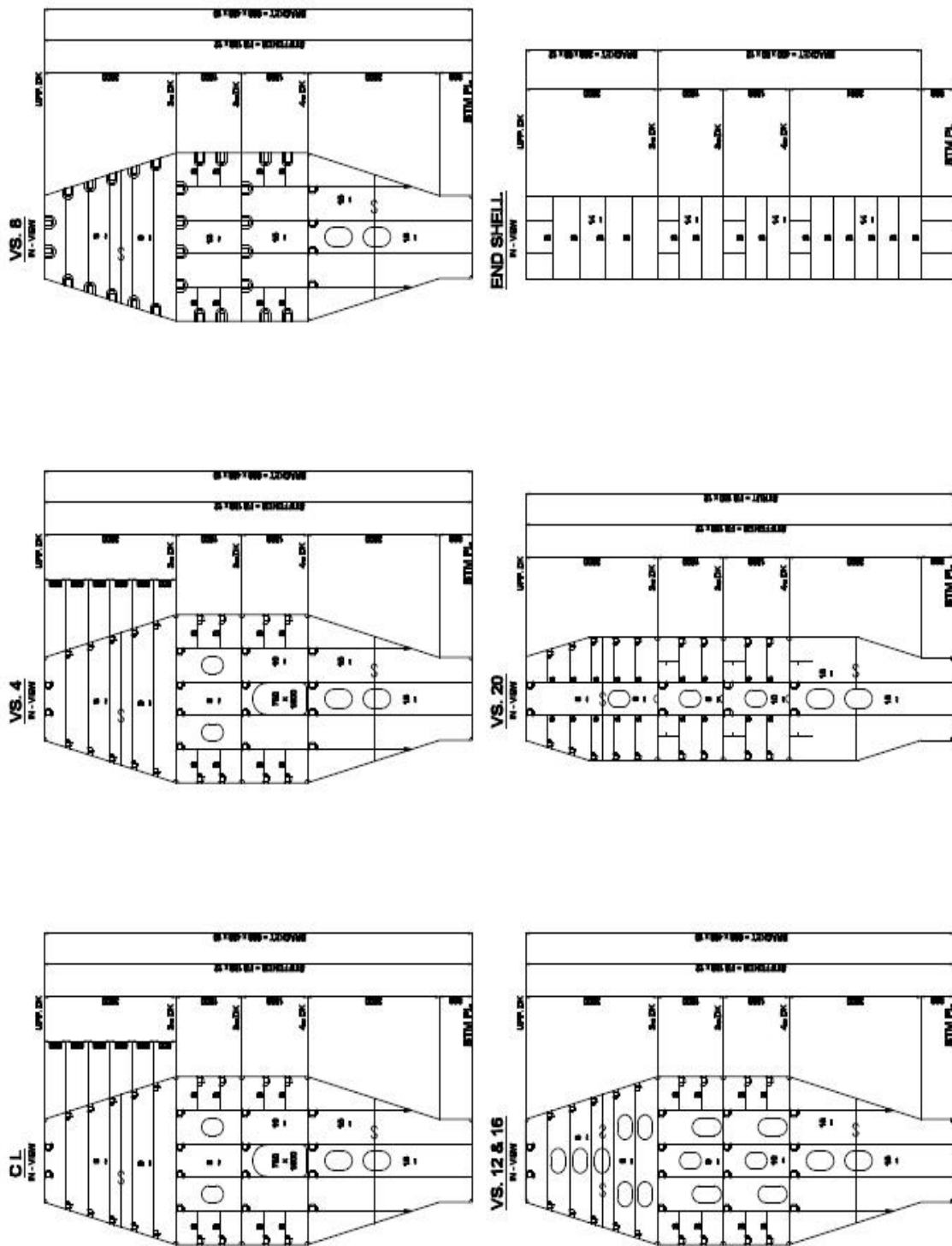
Secara keseluruhan *graving dock gate* ini memiliki 48 gading pada penguatan melintangnya. Dimana jarak tiap gading tersebut adalah 800 mm namun diujung-ujung jarak gading menjadi 650 mm. Untuk lebih jelasnya terdapat pada **Lampiran A**. Keseluruhan struktur konstruksi pada *graving dock gate* ini menggunakan baja dan sambungan las sama halnya dengan struktur konstruksi pada kapal. Baja yang digunakan pada konstruksi *graving dock gate* ini adalah material baja A36 dengan material properties sebagai berikut :

- Modulus *Young* (E) : 2×10^{11} Pa
- Rasio *Poisson* : 0.33
- Massa Jenis Baja : 7850 kg/m^3

3.4 Perhitungan Berat Struktur *Graving Dock Gate*

Perhitungan berat struktur *graving dock gate* dilakukan untuk mengetahui kebutuhan tangki *ballast* agar dapat mengapung dengan stabil. Tabel perhitungan berat struktur *graving dock gate* telah ditunjukkan pada subbab 2.3 dan data perhitungan berat struktur *graving dock gate* terdapat pada **Lampiran B**. Pemaparan hasil perhitungan berat struktur *graving dock gate* terdapat subbab 4.1.

Gambar 3.2 Penampang Melintang Graving Dock Gate



3.5 Perhitungan Stabilitas Graving Dock Gate

Setelah perhitungan berat struktur *graving dock gate* didapatkan, maka dilakukan perhitungan stabilitas. Perhitungan stabilitas ini diperlukan untuk mengetahui *graving dock gate* dapat diapungkan dengan stabil pada sarat seberapa sehingga memudahkan proses buka tutup *graving dock gate*. Berikut langkah-langkah perhitungan stabilitas *graving dock gate* :

1. Menentukan sarat minimum dan sarat maksimum

Sarat minimum dan sarat maksimum dari *graving dock gate* sudah dijelaskan pada subbab 3.3. Kemudian dari nilai tersebut diberikan sarat baru dengan kelipatan 0.5 m sehingga didapat 11 sarat.

2. Menghitung *Displacement*

Setelah didapat 11 sarat, maka dihitung *displacement graving dock gate* pada masing-masing sarat. Untuk mempermudah pada tahap ini, dilakukan pemodelan *graving dock gate* dengan menggunakan *software Maxsurf*. Sehingga bisa didapat nilai *displacement* pada masing-masing sarat.

3. Menentukan titik KG dan KB

- Titik KG dapat diketahui setelah melakukan perhitungan berat struktur *graving dock gate*, karena titik KG dipengaruhi oleh berat struktur dan *ballast*.
- Titik KB dapat diketahui setelah melakukan perhitungan tinggi sarat, setelah sarat diketahui maka titik KB dapat diketahui juga. Titik KB dipengaruhi tinggi sarat.

4. Menghitung GM

Perhitungan GM dilakukan untuk mengetahui apakah pintu ini stabil atau tidak. Persamaan dari benda terapung dikatakan akan stabil jika metacenter terletak diatas titik gravitasi. Jarak titik gravitasi sampai *metacenter*, GM, disebut tinggi *metacenter* dan bernilai positif keatas. Kondisi stabil dapat dinyatakan dengan $GM > 0$.

Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung tinggi *metacenter* :

$$BM_T = \frac{I}{V}$$
$$BM_T = \frac{L \cdot B^3}{12 \cdot V}$$
$$BM_T = \frac{B^2}{12 \cdot T}$$
$$GM = KB + BM_T - KG$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, didapat nilai GM pada tiap sarat sehingga dapat diketahui pada sarat seberapa *graving dock gate* dapat diapungkan dengan stabil. Data perhitungan stabilitas *graving dock gate* terdapat pada **Lampiran C**. Sedangkan pemaparan hasil perhitungan stabilitas *graving dock gate* terdapat pada subbab 4.1.

3.6 Penentuan Kondisi Pembebanan

3.6.1 Variasi Kondisi Pembebanan

Variasi kondisi pembebanan diberikan berdasarkan kondisi yang memungkinkan *graving dock gate* untuk tetap duduk pada dudukannya atau mengapung. Dengan pertimbangan tersebut maka didapat variasi kondisi pembebanan sebagai berikut :

- Kondisi *graving dock gate* duduk pada dudukannya (operasional)
Pada kondisi ini *graving dock* tidak berisi air atau dalam masa operasional sehingga *graving dock gate* ditutup dan duduk pada dudukannya. Tinggi *ballast* didalam tangki *ballast graving dock* mengikuti tinggi sarat tiap variasi. Kondisi pembebanan ini dilakukan pada sarat 4.5 m dan 9.5 m.
- Kondisi *graving dock gate* mengapung dalam kondisi stabil (*floating*)
Pada kondisi ini *graving dock* dibuka dan *graving dock gate* mengapung dalam kondisi stabil. Tinggi *ballast* didalam tangki *ballast graving dock gate* mengikuti tinggi *ballast* pada tiap variasi.

Pemaparan variasi kondisi pembebanan *graving dock gate* pada tiap kondisi akan dijelaskan pada subbab 4.1. Perhitungan tinggi *ballast* untuk Kondisi 2 (*floating*) terdapat pada **Lampiran D**.

3.6.2 Perhitungan Beban Kerja

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, beban kerja pada *graving dock gate* berupa tekanan hidrostatik dapat dijadikan sebagai beban kelelahan (*fatigue loading*) frekuensi sangat rendah (statis). Untuk melakukan proses analisa kelelahan akibat tekanan hidrostatik maka perhitungan tekanan hidrostatik dilakukan untuk efek yang disebabkan oleh ketinggian air laut dan muatan tangki *ballast*. Perhitungan tekanan hidrostatik untuk setiap kondisi terdapat pada **Lampiran D** sedangkan pemaparan hasil perhitungan beban kerja terdapat pada subbab 4.1.

3.7 Kondisi Batas

3.7.1 Kondisi Batas Graving Dock Gate

Selama masa pengoperasian, *graving dock gate* diikatkan terhadap *graving dock* dengan posisi sisi *graving dock gate* dikedapkan pada tiga sisi tumpuan *graving dock gate* dihubungkan terhadap *struktur graving dock*. Hubungan antara sisi *graving dock gate* dan struktur *graving dock* yang dijadikan kondisi batas dalam pemodelan *software* analisa elemen hingga terdapat pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Kondisi Batas Graving Dock Gate

Lokasi	Translasi	Rotasi
<i>Vertical (Y)</i>	$u_x = 0$	$rot_x = 0$
	$u_y \neq 0$	$rot_y \neq 0$
	$u_z \neq 0$	$rot_z = 0$
<i>Horizontal (Z)</i>	$u_x = 0$	$rot_x = 0$
	$u_y = 0$	$rot_y = 0$
	$u_z \neq 0$	$rot_z \neq 0$

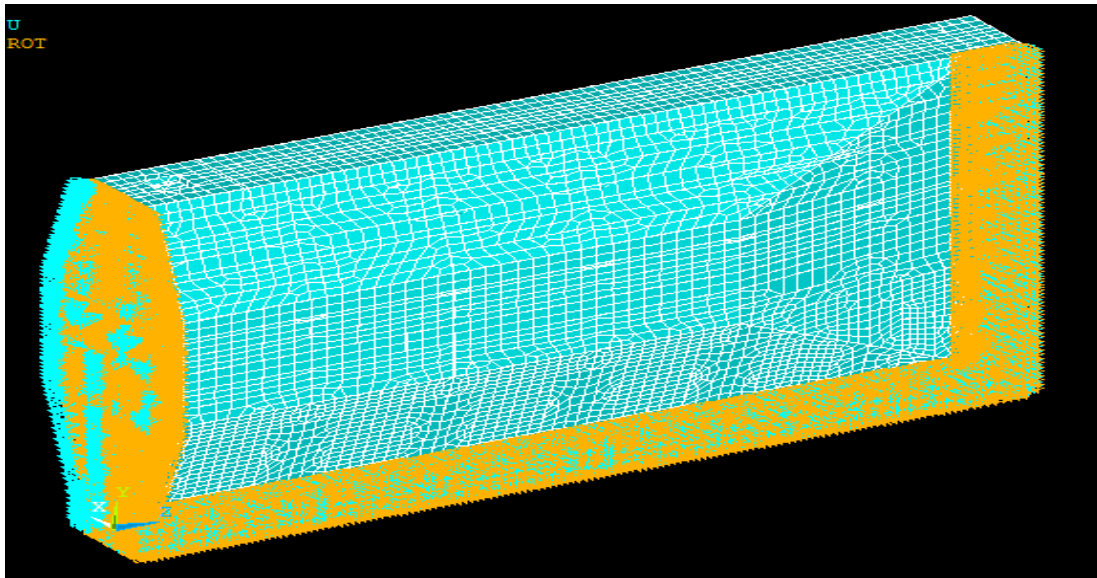
3.7.2 Kondisi Batas untuk Struktur Simetri

Graving dock gate yang dimodelkan dalam *software* analisa elemen hingga merupakan struktur simetri. Oleh karena itu, dalam pemodelan pada *software* elemen hingga *graving dock gate* dimodelkan dengan setengah struktur. Sehingga diaplikasikan kondisi batas struktur simetri yang tegak lurus terhadap sumbu Z. Kondisi batas pada struktur simetri dalam pemodelan *software* analisa elemen hingga terdapat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Kondisi Batas Struktur Simetri

Sumbu	Translasi	Rotasional
X	$u_x \neq 0$	$rot_x = 0$
Y	$u_y \neq 0$	$rot_y = 0$
Z	$u_z = 0$	$rot_z \neq 0$

Pemodelan kondisi batas baik tumpuan *graving dock gate* dengan *graving dock* dan struktur simetri diaplikasikan di node dan dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.3 Kondisi Batas pada *Graving Dock Gate*

3.8 Pemodelan *Graving Dock Gate*

3.8.1 *Pre-Processing*

Pre-processing merupakan tahapan untuk membuat geometri *graving dock gate*, input sifat material yang dipakai untuk *graving dock gate*, pemilihan jenis elemen yang digunakan dalam pemodelan *graving dock gate*. Sub-menu yang terdapat pada tahapan *pre-processing* diantaranya :

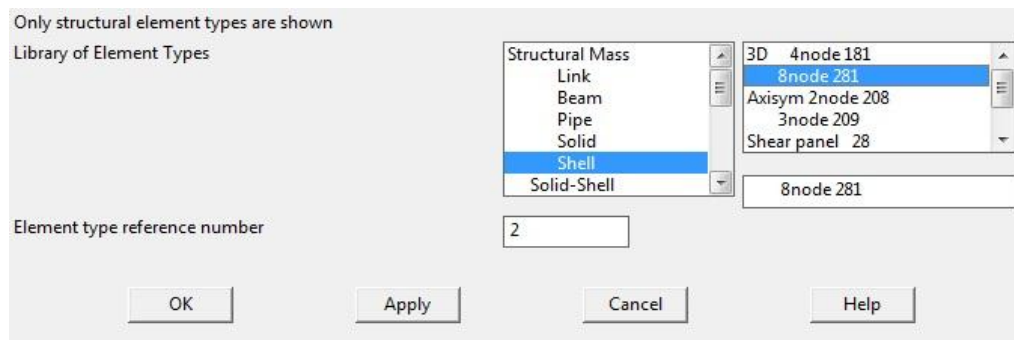
b. *Element Type*

Sub-menu ini digunakan untuk mendefinisikan jenis elemen yang dipakai dalam proses analisa elemen hingga *graving dock gate*. Jenis elemen yang

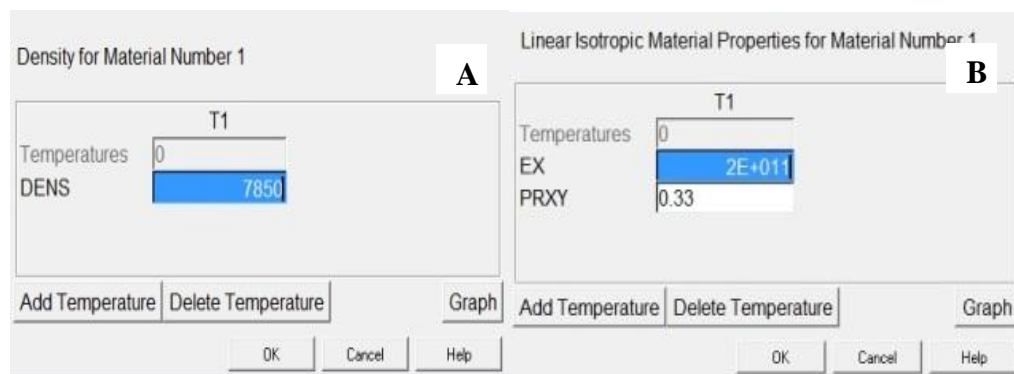
digunakan dalam analisa elemen hingga pada tugas akhir ini adalah elemen *Shell* 93. Pendefinisian jenis elemen yang digunakan dalam proses analisa elemen hingga *graving dock gate* terdapat pada **Gambar 3.4**.

c. *Material Properties*

Sub-menu ini digunakan untuk mendefinisikan karakteristik material yang digunakan dalam proses analisa elemen hingga *graving dock gate*. Jenis material yang dipakai telah dijelaskan pada subbab 3.4. Pendefinisian karakteristik material yang digunakan dalam proses analisa elemen hingga *graving dock gate* terdapat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.4 Pendefinisian Jenis Elemen pada *Software* Analisa Elemen Hingga

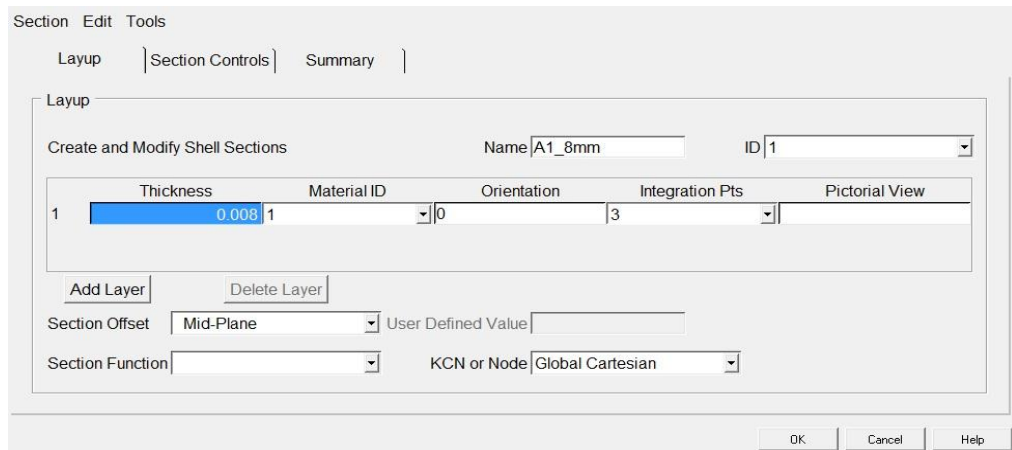


**Gambar 3.5 (A) Pendefinisian Massa Jenis Material
(B) Pendefinisian Sifat Material**

d. *Sections*

Sub-menu ini digunakan untuk mendefinisikan ukuran struktur yang digunakan dalam proses analisa elemen hingga *graving dock gate*. Dalam tugas akhir ini digunakan elemen *Shell* 93 maka yang didefinisikan adalah

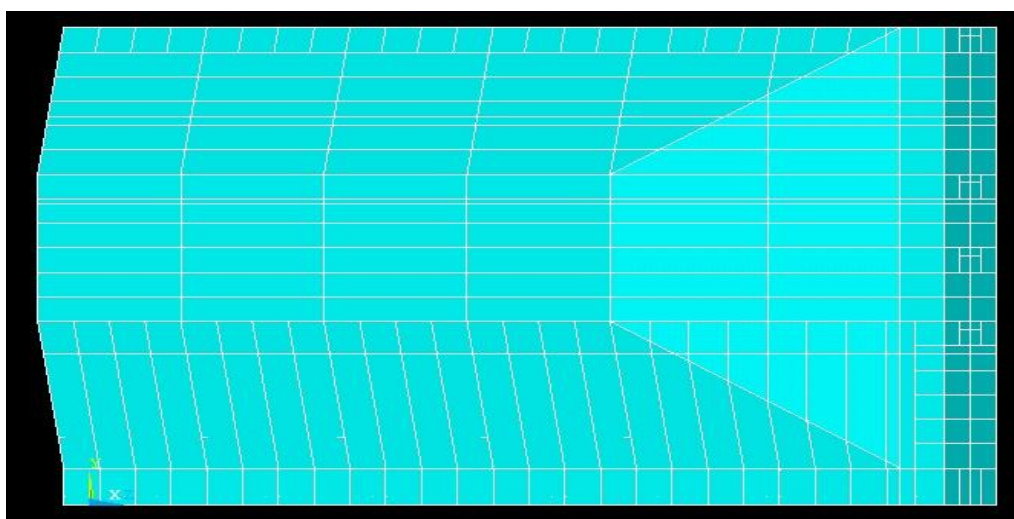
tebal dari *Shell 93*. Pendefinisian ukuran struktur yang digunakan dalam proses analisa elemen hingga *graving dock gate* terdapat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6 Pendefinisian Ukuran Tebal Pelat

e. *Modelling*

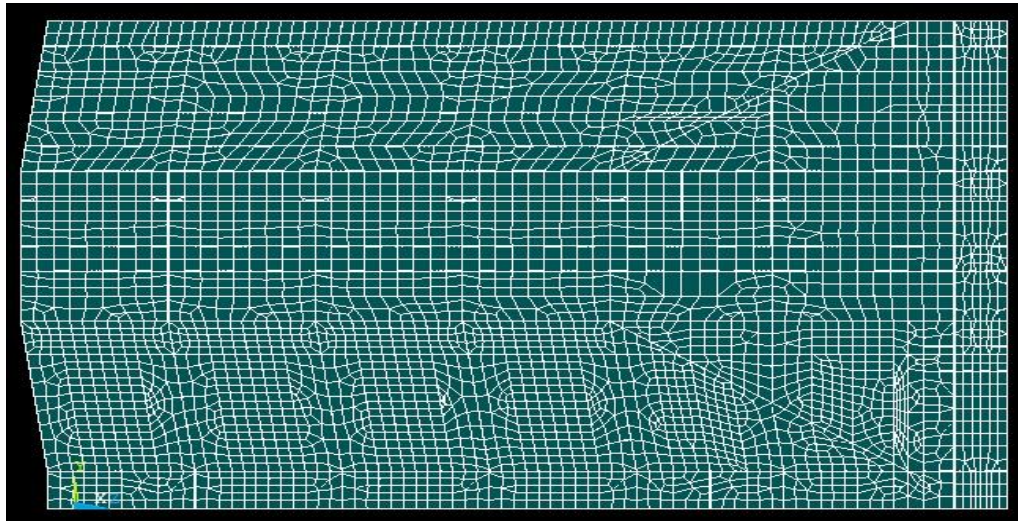
Sub-menu ini digunakan untuk membuat geometri struktur yang digunakan dalam proses analisa elemen hingga *graving dock gate*. Pembuatan geometri struktur *graving dock gate* dilakukan dengan penginputan *keypoint* yang selanjutnya *keypoint* tersebut dihubungkan menjadi garis dan beberapa garis dihubungkan menjadi sebuah *area*.



Gambar 3.7 Model *Graving Dock Gate* dalam Bentuk Area

f. *Meshing*

Sub-menu ini digunakan untuk membuat geometri struktur yang digunakan dalam proses analisa elemen hingga *graving dock gate* menjadi elemen dan nodal. Dalam elemen-elemen yang dihasilkan terdapat definisi tebal dan sifat material dari elemen tersebut.



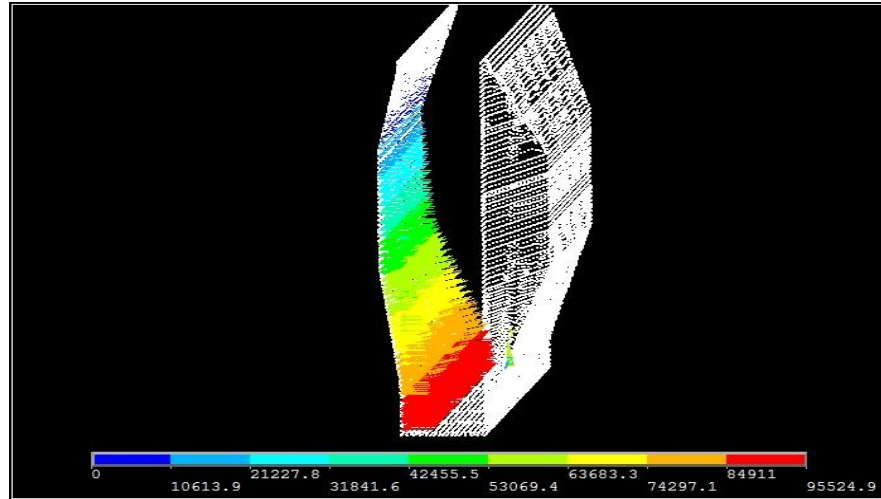
Gambar 3.8 Model *Graving Dock Gate* dalam Bentuk Elemen

g. *Define Load*

Sub-menu ini digunakan untuk mendefinisikan jenis pembebanan, dan kondisi batas seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya. Beban yang diaplikasikan :

1. *DOF BC* : memberikan batasan derajat kebebasan pada model
2. *Symmetry BC* : memberikan batasan pada struktur simetris
3. *Surface Load* : memberikan beban yang uniform pada model
4. *Pressure* : memberikan beban berupa tekanan pada model

Pembebanan diaplikasikan pada *node* yang terdapat di area yang terkena beban. Menurut (ANSYS, 2009), pendefinisian beban hidrostatik dalam *software* analisa elemen hingga dilakukan dengan cara memasukkan pengurangan beban tiap meternya. Sehingga didapat beban maksimum pada dasar/bottom model *graving dock gate* dan beban bernilai mendekati “nol” pada permukaan. Persebaran dari beban hidrostatik tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.9**.



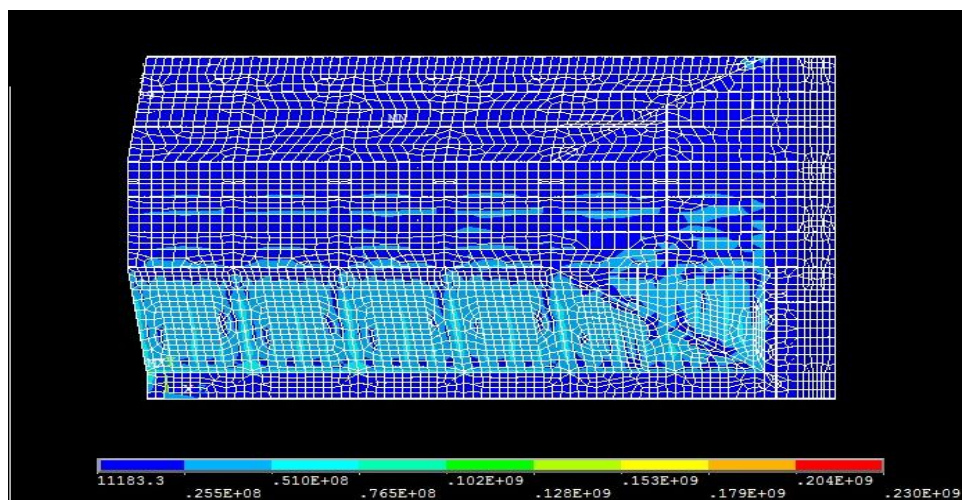
Gambar 3.9 Contoh Persebaran Beban Hidrostatik pada Salah Satu Kondisi Pembebanan

3.8.2 Solving

Solving merupakan proses untuk menyelesaikan analisa elemen hingga struktur *graving dock gate* dengan kondisi batas dan beban yang sudah diaplikasikan.

3.8.3 Post Processing

Post processing merupakan menu untuk mengetahui hasil dari analisa elemen hingga struktur *graving dock gate* oleh komputer. Terdapat banyak jenis hasil yang diketahui seperti tegangan, tegangan geser, atau *displacement* nodal struktur. Namun, dalam tugas akhir ini diambil hasil *Von-Misses stress* dari struktur *graving dock gate* tersebut.



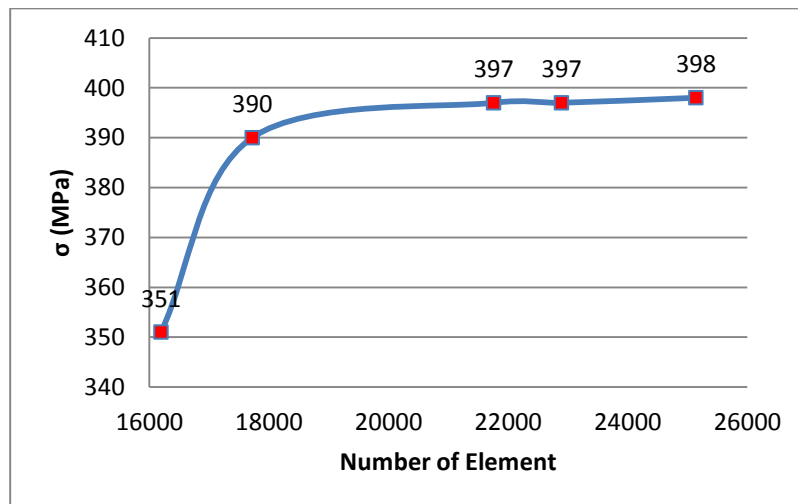
Gambar 3.10 Contoh Hasil Analisa Tegangan pada Salah Satu Kondisi Pembebanan

3.8.4 Konvergensi

Konvergensi dilakukan pada model dengan kondisi batas sembarang dan pembebanan sembarang yang sama pada tiap ukuran elemen. Hasil konvergensi tegangan terhadap ukuran elemen dan jumlah elemen terdapat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Hasil Solving Tegangan Software Analisa Elemen Hingga

No	Element Size (m)	Numbers of Element	σ_{\max} (N/mm ²)
1	0.325	25142	398
2	0.35	22894	397
3	0.375	21760	397
4	0.4	17722	390
5	0.5	16196	351



Grafik 3.1 Grafik Konvergensi Jumlah Elemen Terhadap Tegangan

Berdasarkan hasil yang dapat dilihat pada **Grafik 3.1**, maka proses perhitungan tegangan analisa elemen hingga pada software analisa elemen hingga pada ukuran meshing 0.375 m.

3.9 Pengecekan Kekuatan *Graving Dock Gate*

Tujuan pemodelan *graving dock gate* pada *software* analisa elemen hingga salah satunya adalah pengecekan kekuatan. Dalam hal ini kekuatan *graving dock gate* dianggap memenuhi jika memiliki nilai tegangan maksimum yang terjadi tidak melebihi nilai tegangan ijin. Dalam penelitian ini nilai tegangan ijin diambil sama dengan nilai R_{EH}

material ASTM A36 sebesar 235 N/mm^2 , artinya nilai *safety factor* $SF = 1$. Pengecekan kekuatan graving dilakukan dengan menginputkan beban maksimum yang alami *graving dock gate* sehingga dapat diketahui nilai tegangan maksimum yang terjadi.

3.10 Peninjauan Lokasi Kelelahan

Dilakukan penyederhanaan jumlah sambungan pada sebuah struktur yang memiliki sambungan las yang kompleks. Hal ini dilakukan untuk mempermudah perhitungan *fatigue damage* dan *fatigue life* (Lassen & Recho, 2006). Jenis sambungan ditinjau sebagai lokasi kelelahan dalam Tugas Akhir adalah *butt welded joint* dan *fillet welded joint/T joint*. Lokasi kelelahan yang diambil berdasarkan jenis konfigurasi sambungan yang didapat dari *rules* BKI tahun 2014 Volume II tentang *Rules for Hull Seagoing Steel Ships, Section 20 Table 20.3*. Namun, untuk mendapatkan nilai K_2 (untuk perhitungan D_{fat} dengan menggunakan Metode *Simplified Fatigue Life Assessment*) dari tiap konfigurasi sambungan tersebut dilakukan penerjemahan konfigurasi sambungan dari *rules* BKI ke *rules* IACS. Untuk penerjemahan konfigurasi sambungan akan dibahas pada bab berikutnya. Lokasi kelelahan yang ditinjau merupakan lokasi sambungan las yang dianggap “lemah” dan sering menerima beban hiddrosatis.

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengecekan Kekuatan *Graving Dock Gate*

4.1.1 Perhitungan Sebelum Pengecekan Kekuatan *Graving Dock Gate*

Sebelum dilakukan pengecekan kekuatan *graving dock gate* menggunakan *software* analisa elemen hingga, terdapat beberapa perhitungan sebelumnya seperti yang telah dijelaskan pada Bab 3. Berikut pemaparan hasil perhitungann sebelum pengecekan kekuatan *graving dock gate*.

a. Hasil Perhitungan Berat Struktur *Graving Dock Gate*

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dan didapat hasil berat struktur *graving dock gate* adalah 256.053 ton.

b. Hasil Perhitungan Stabilitas *Graving Dock Gate*

Setelah dilakukan perhitungan berat struktur *graving dock gate*, langkah selanjutnya adalah perhitungan stabilitas *graving dock gate*. Hasil dari perhitungan stabilitas menunjukkan *graving dock gate* akan mengapung dengan stabil dengan nilai $GM > 0$ terjadi sarat air laut 6.0 m dengan tinggi ballast 3.81 m.

c. Hasil Perhitungan Beban Kerja

Seperti yang sudah dijelaskan pada subbab 3.6, terdapat dua jenis kondisi pembebanan yaitu kondisi operasional dan kondisi *floating*. Dari masing-masing kondisi terdapat dua variasi pembebanan yang akan ditunjukkan pada **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2**.

Tabel 4.1 Tekanan Hidrostatik pada Kondisi Operasional

Notasi	T [m]	$h_{ballast}$ [m]	Lokasi Pembebanan			
			Sisi <i>Graving Dock</i> [N/m ²]	Sisi Air Laut [N/m ²]	Bottom [N/m ²]	End Shell [N/m ²]
O _{4.5m}	4.5	4.5	0	0	0	0
			45248.625	0	0	0
O _{9.5m}	9.5	9.5	0	0	0	0
			95524.875	0	0	0

Tabel 4.2 Tekanan Hidrostatik pada Kondisi *Floating*

Notasi	T [m]	$h_{ballast}$ [m]	Lokasi Pembebanan			
			Sisi <i>Graving Dock</i> [N/m ²]	Sisi Air Laut [N/m ²]	<i>Bottom</i> [N/m ²]	<i>End Shell</i> [N/m ²]
F _{6.0m}	6.0	3.810	0	0	0	0
			22025.391	22025.391	22025.391	22025.391
F _{9.5m}	9.5	7.460	0	0	0	0
			20515.298	20515.298	20515.298	20515.298

4.1.2 Pengecekan Kekuatan *Graving Dock Gate* (Tahap 1)

Setelah *graving dock gate* dimodelkan dengan *software* analisa elemen hingga, maka dilakukan pengecekan kekuatan desain *graving dock gate*. Kekuatan *graving dock gate* dianggap memenuhi jika memiliki nilai tegangan maksimum yang terjadi tidak melebihi nilai tegangan ijin. Dalam penelitian ini nilai tegangan ijin diambil sama dengan nilai R_{EH} material ASTM A36 sebesar 235 N/mm², artinya nilai *safety factor* SF = 1.

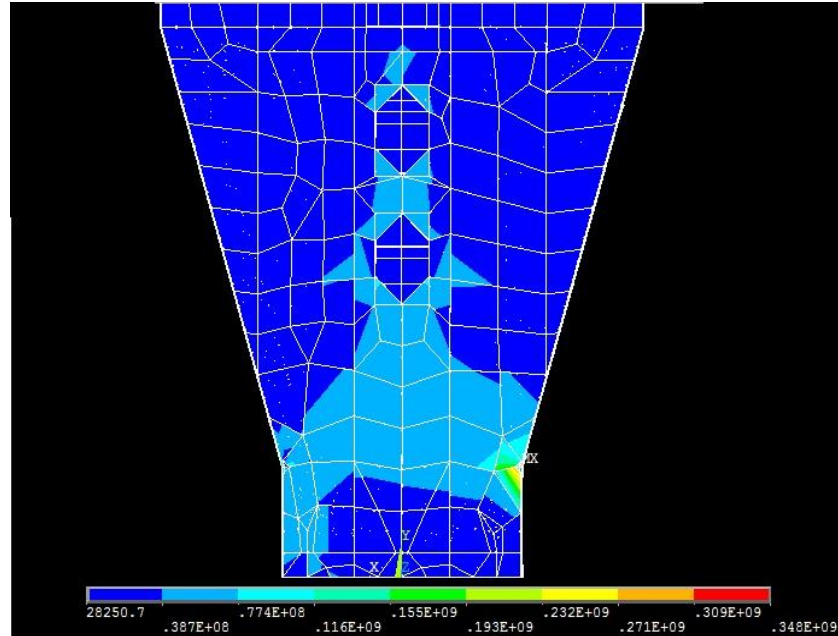
Pada **Tabel 4.3** merupakan hasil perhitungan desain *graving dock gate* oleh *software* analisa elemen hingga. Pengecekan kekuatan dilakukan pada kondisi pembebanan maksimum yaitu pada O_{9.5m}. Pada pengecekan kekuatan ini tebal pelat dari tiap struktur adalah 100%.

Tabel 4.3 Pengecekan Kekuatan *Graving Dock Gate* pada Kondisi O_{9.5m}

No	Lokasi Sambungan	σ_{max} (N/mm ²)	Status
1	Antara sekat melintang & pelat sisi	348	<i>Rejected</i>
2	Antara <i>bracket</i> & <i>ordinary frame</i>	103	<i>Accepted</i>
3	Antara <i>transverse stiffeners</i> & <i>side longitudinal</i>	96.8	<i>Accepted</i>
4	Antara <i>side longitudinal</i> & pelat sisi	109	<i>Accepted</i>
5	Antara pelat deck 4 & pelat sisi	174	<i>Accepted</i>
6	Antara deck 4 <i>longitudinal</i> & penegar sekat melintang	174	<i>Accepted</i>
7	Antara pelat deck 4 & deck 4 <i>longitudinal</i>	90.1	<i>Accepted</i>

Dari pengecekan kekuatan dengan kondisi pelat 100% maka dapat dilihat terdapat tegangan maksimum yang terjadi melebihi nilai tegangan ijin. Lokasi yang melebihi

tegangan yang diijinkan adalah sambungan antara sekat melintang dan pelat sisi yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Hasil *Solving* dengan Kondisi Pembebanan $O_{9.5m}$

Dengan adanya struktur yang memiliki tegangan melebihi tegangan yang diizinkan, maka dilakukan revisi pada desain *graving dock gate*. Revisi berupa pergantian tebal pelat pada lokasi lajur pelat D pada setiap sekat melintang, ordinary frame, dan floor yang ditunjukkan pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 Revisi Tebal pada Struktur *Graving Dock Gate*

No	Item	t_{sebelum} (mm)	t_{sesudah} (mm)
1	Lajur pelat D pada setiap sekat melintang	15	20
2	<i>Ordinary frame</i>	10	15
3	<i>Floor</i>		
	• <i>Web</i>	10	15
	• <i>Face</i>	12	15

4.1.3 Perhitungan Setelah Pergantian Ukuran Struktur *Graving Dock Gate*

Dengan adanya revisi pada desain *graving dock gate*, maka terjadi juga perubahan pada beberapa perhitungan awal yaitu perhitungan berat, stabilitas dan beban kerja. Pemaparan hasil perhitungan-perhitungan tersebut setelah dilakukan revisi desain *graving dock gate* pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan setelah Dilakukan Revisi Desain *Graving Dock Gate*

No	Jenis Perhitungan	Sebelum	Sesudah
1	Perhitungan Berat Struktur <ul style="list-style-type: none"> Berat <i>graving dock gate</i> 	256.053 ton	267.572 ton
2	Perhitungan Stabilitas <ul style="list-style-type: none"> Stabil pada sarat Tinggi <i>metacenter</i> pada kondisi sarat stabil Tinggi <i>ballast</i> pada kondisi sarat stabil 	6.0 m 0.425 m 3.810 m	6.0 m 0.449 m 3.711 m

Untuk perhitungan beban hidrostatis terjadi perubahan pada Kondisi *Floating*. Hasil perhitungan sebelumnya terdapat pada subbab 4.1.1, sedangkan pada **Tabel 4.6** merupakan hasil perhitungan setelah dilakukan revisi desain pada *graving dock gate*.

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Beban Hidrostatis setelah Dilakukan Revisi Desain

Notasi	T [m]	$h_{ballast}$ [m]	Lokasi Pembebanan			
			Sisi Graving Dock [N/m ²]	Sisi Air Laut [N/m ²]	Bottom [N/m ²]	End Shell [N/m ²]
F _{6.0m}	6	3.711	0.000	0.000	0.000	0.000
			23015.773	23015.773	23015.773	23015.773
F _{9.5m}	9.5	7.368	0.000	0.000	0.000	0.000
			21436.525	21436.525	21436.525	21436.525

4.1.4 Pengecekan Kekuatan *Graving Dock Gate* (Tahap 2)

Dilakukan proses *solving* pada *software* analisa elemen hingga dengan desain *graving dock gate* yang sudah direvisi dan dengan beban-beban yang sudah direvisi. Sehingga didapat hasil *solving* sebagaimana yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 Pengecekan Kekuatan setelah Dilakukan Revisi Desain *Graving Dock Gate*

No	Lokasi Sambungan	σ_{\max} (N/mm ²)	Status
1	Antara sekat melintang & pelat sisi	230	<i>Accepted</i>
2	Antara <i>bracket</i> & <i>ordinary frame</i>	67.7	<i>Accepted</i>
3	Antara <i>transverse stiffeners</i> & <i>side longitudinal</i>	96.9	<i>Accepted</i>
4	Antara <i>side longitudinal</i> & pelat sisi	108	<i>Accepted</i>
5	Antara pelat deck 4 & pelat sisi	157	<i>Accepted</i>
6	Antara deck 4 <i>longitudinal</i> & penegar sekat melintang	136	<i>Accepted</i>
7	Antara pelat deck 4 & deck 4 <i>longitudinal</i>	70.41	<i>Accepted</i>

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa kekuatan struktur dianggap memenuhi jika hasil tegangan maksimum dari proses *solving* dengan *software* analisa elemen hingga memiliki hasil tidak melebihi nilai tegangan ijin yaitu 235 N/mm². Berdasarkan hasil yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.7**, struktur *graving dock gate* telah “memenuhi” persyaratan tersebut.

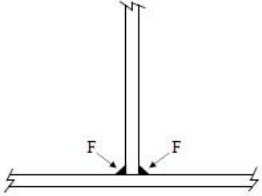
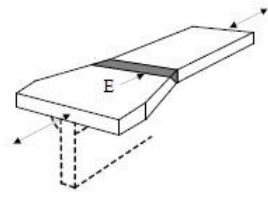
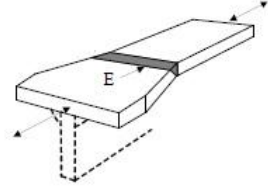
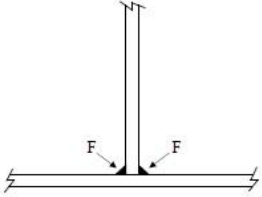
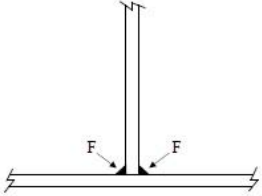
4.2 Peninjauan Lokasi Kelelahan

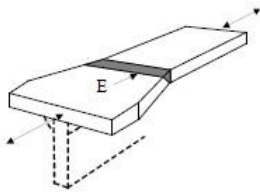
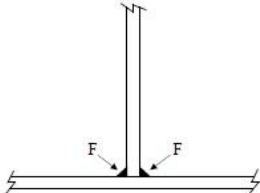
Lokasi kelelahan yang diambil berdasarkan jenis konfigurasi sambungan yang didapat dari *rules* BKI tahun 2014 Volume II tentang *Rules for Hull Seagoing Steel Ships, Section 20 Table 20.3*. Namun, untuk mendapatkan nilai K_2 (untuk perhitungan D_{fat} dengan menggunakan Metode *Simplified Fatigue Life Assessment*) dari tiap konfigurasi sambungan tersebut dilakukan penerjemahan konfigurasi sambungan dari *rules* BKI ke *rules* IACS. Penerjemahan dilakukan dengan menyamakan jenis konfigurasi sambungan yang ditinjau.

Pada Tugas Akhir ini, konfigurasi yang ditinjau adalah *butt welded joint* dan *fillet welded joint/T joint*. Menurut *rules* BKI *butt welded joint* dan *fillet welded joint/T joint* termasuk dalam klas sambungan A dan D. Sedangkan menurut *rules* IACS, klas sambungan untuk konfigurasi sambungan tersebut secara berturut-turut adalah E dan F. Konfigurasi sambungan menunjukkan detail konstruksi dimana *fatigue crack* dapat

berkembang dan kelas yang tepat pada sambungan tersebut. Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.8 Lokasi Analisa Kelelahan

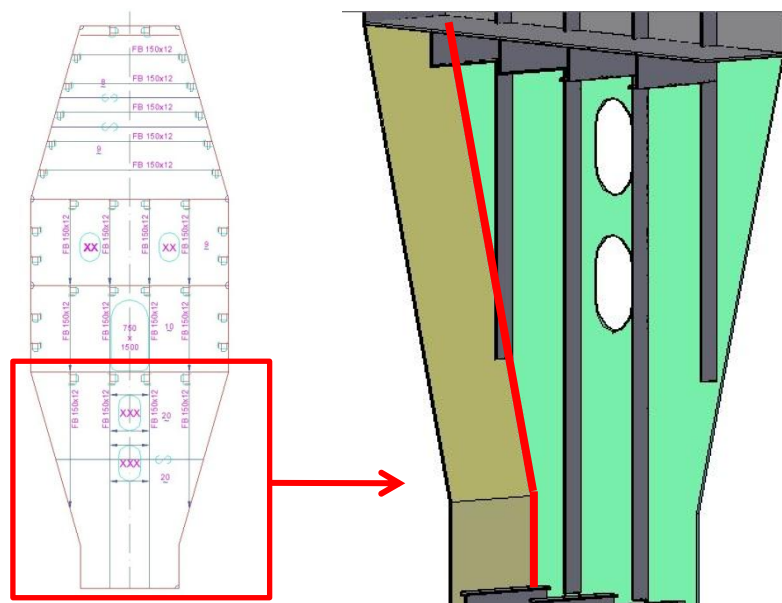
Notasi	Lokasi Sambungan	Jenis/Klas Sambungan	Gambar Konfigurasi Sambungan
LC1	Antara sekat melintang & pelat sisi	<i>T joint</i> F	
LC2	Antara <i>bracket & ordinary frame</i>	<i>Butt joint</i> E	
LC3	Antara <i>transverse stiffeners & side longitudinal</i>	<i>Butt joint</i> E	
LC4	Antara <i>side longitudinal & pelat sisi</i>	<i>T joint</i> F	
LC5	Antara pelat deck 4 & pelat sisi	<i>T joint</i> F	

LC6	Antara deck 4 <i>longitudinal</i> & penegar sekat melintang	<i>Butt joint</i> E	
LC7	Antara pelat deck 4 & deck 4 <i>longitudinal</i>	<i>T joint</i> F	

Gambar detail sambungan yang ditampilkan adalah sambungan yang telah ditentukan untuk dihitung kelelahannya.

- LC 1

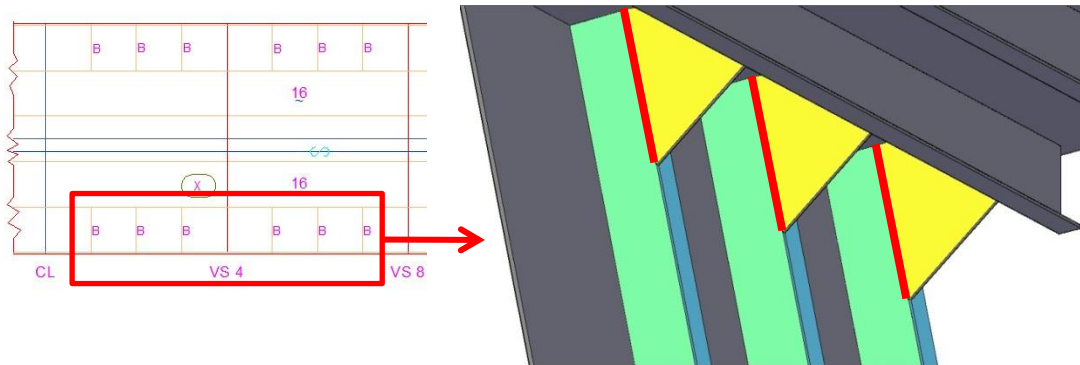
Lokasi yang diperiksa adalah sambungan antara sekat melintang dan pelat sisi. Lokasi ini ditinjau karena pada hasil *solving* pada *software* analisa elemen hingga memiliki tegangan tertinggi.



Gambar 4.2 Sambungan antara Sekat Melintang dan Pelat Sisi

- LC 2

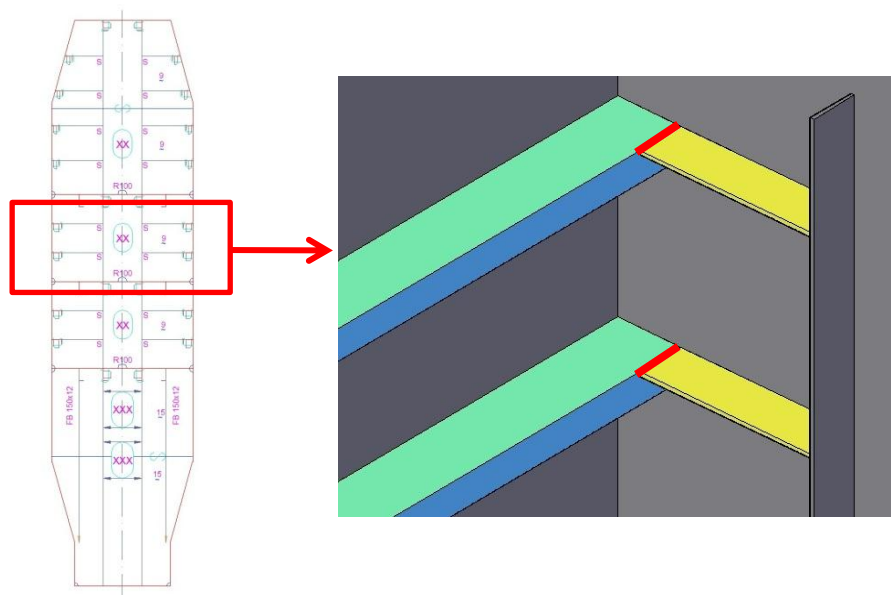
Lokasi yang diperiksa adalah sambungan antara *bracket* dan *ordinary frame*.



Gambar 4.3 Sambungan antara *Bracket* dan *Ordinary Frame*

- LC 3

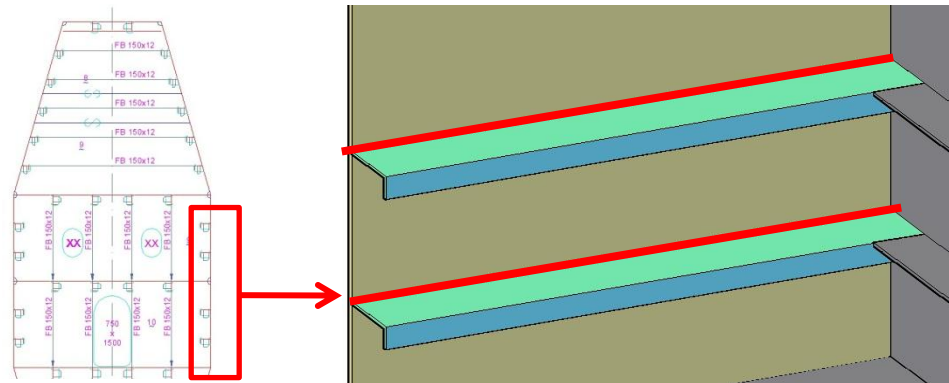
Lokasi yang diperiksa adalah sambungan antara *transverse stiffeners* dan *side longitudinal*.



Gambar 4.4 Sambungan antara *Transverse Stiffeners* dan *Side Longitudinal*

- LC 4

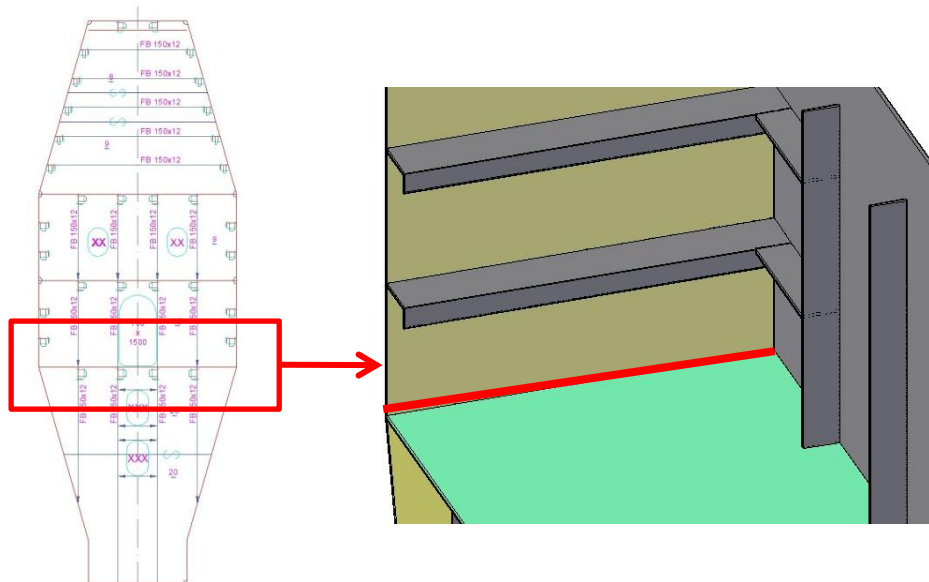
Lokasi yang diperiksa adalah sambungan antara *side longitudinal* dan pelat sisi.



Gambar 4.5 Sambungan antara *Side Longitudinal* dan Pelat Sisi

- LC 5

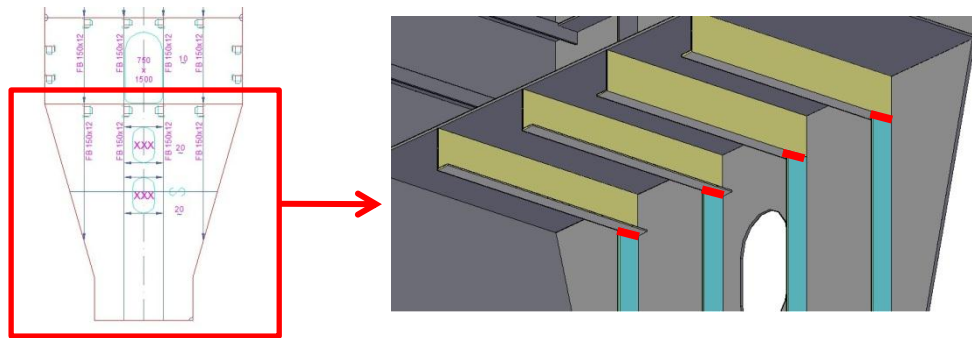
Lokasi yang diperiksa adalah sambungan antara pelat deck 4 dan pelat sisi.



Gambar 4.6 Sambungan antara Pelat Deck 4 dan Pelat Sisi

- LC 6

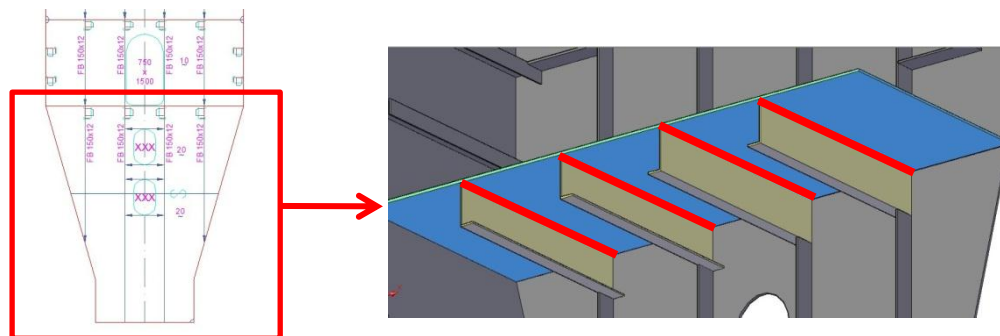
Lokasi yang diperiksa adalah sambungan antara deck 4 *longitudinal* dan penegar sekat melintang.



Gambar 4.7 Sambungan antara Deck 4 *Longitudinal* dan Penegar Sekat Melintang

- LC 7

Lokasi yang diperiksa adalah sambungan antara pelat deck 4 dan deck 4 *longitudinal*.

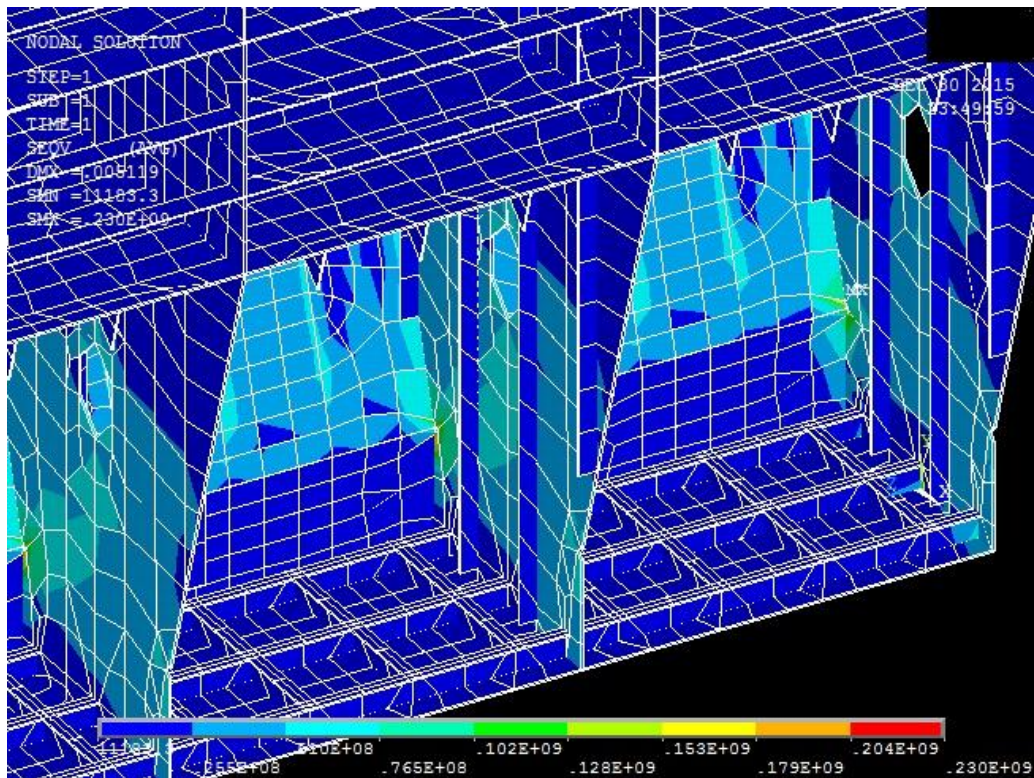


Gambar 4.8 Sambungan antara Pelat Deck 4 dan Deck 4 *Longitudinal*

4.3 Rekapitulasi Nilai Tegangan

4.3.1 Nilai Tegangan pada Tiap Kondisi Pembebanan

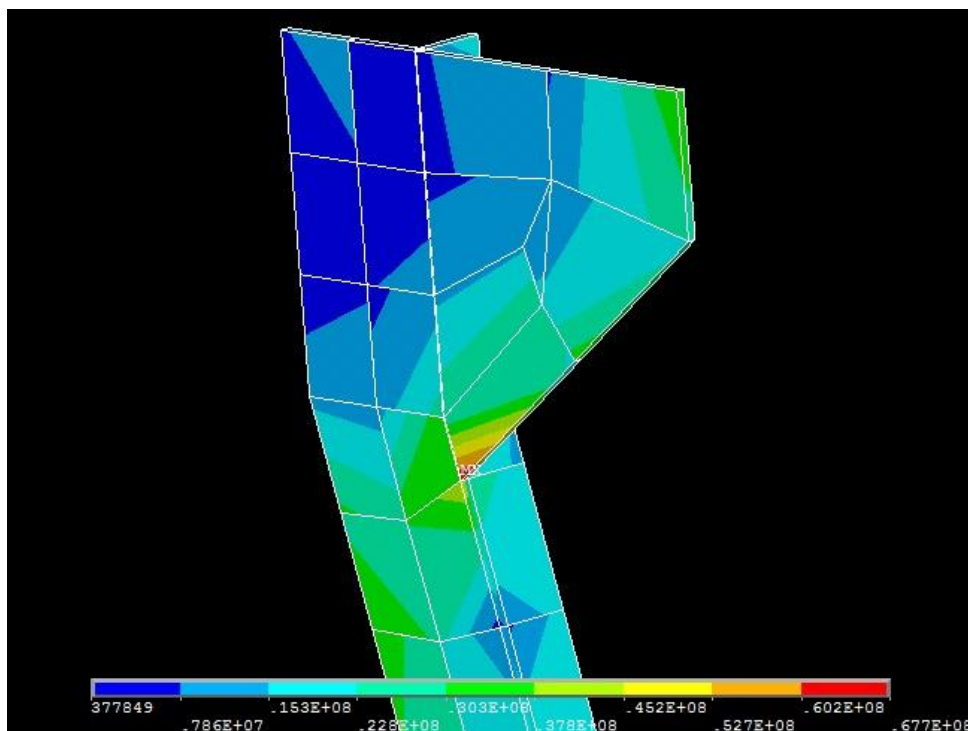
Dilakukan solving menggunakan software analisa elemen hingga untuk mengetahui nilai tegangan dari tiap kondisi pembebanan. Nilai tegangan yang didapat merupakan nilai *hot-spot stress*. Dengan kata lain, nilai tegangan merupakan nilai tegangan lokal pada sambungan tersebut. Rekapitulasi hasil solving software analisa elemen hingga pada tiap sambungan terdapat pada **Tabel 4.9** sampai **Tabel 4.15**.



Gambar 4.9 *Hot-spot Area* LC1 pada Kondisi $O_{9.5m}$

Tabel 4.9 Rekapitulasi Tegangan pada LC 1

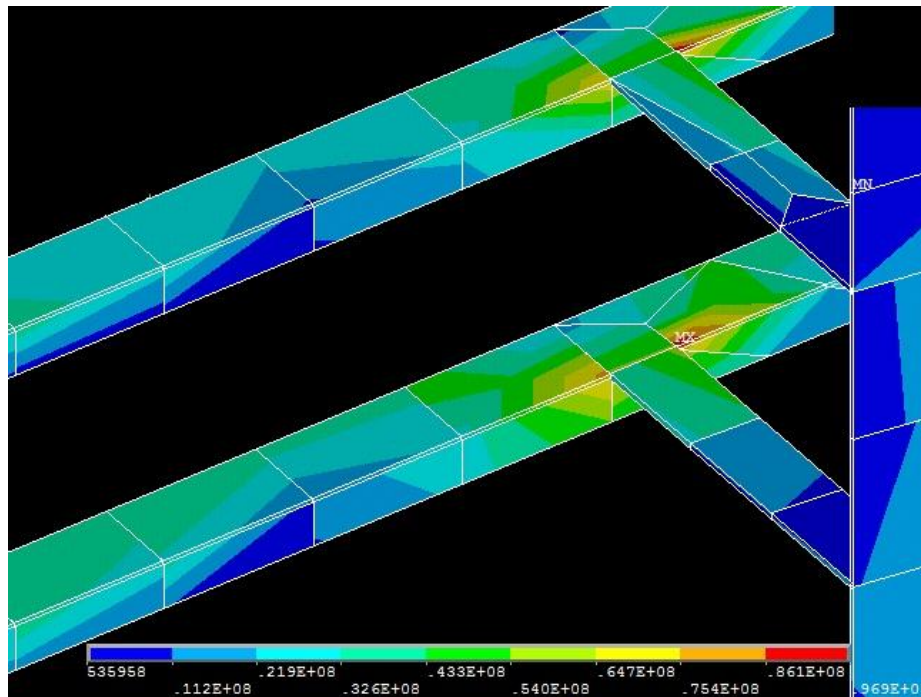
Lokasi Tinjauan		O _{4.5m}	O _{9.5m}	F _{6.0m}	F _{9.5m}
Sekat Melintang	Node	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
0	28286	11.700	131.160	0.167	0.443
4	29268	20.925	214.280	0.768	0.894
8	28644	20.459	211.580	0.699	0.479
12	29798	20.243	198.550	1.762	1.037
16	28354	16.593	153.370	0.725	1.110
20	29585	12.489	96.879	4.903	4.239
END	48471	1.016	15.515	0.284	0.340



Gambar 4.10 Hot-spot Area LC2 pada Kondisi O_{9.5m}

Tabel 4.10 Rekapitulasi Tegangan pada LC 2

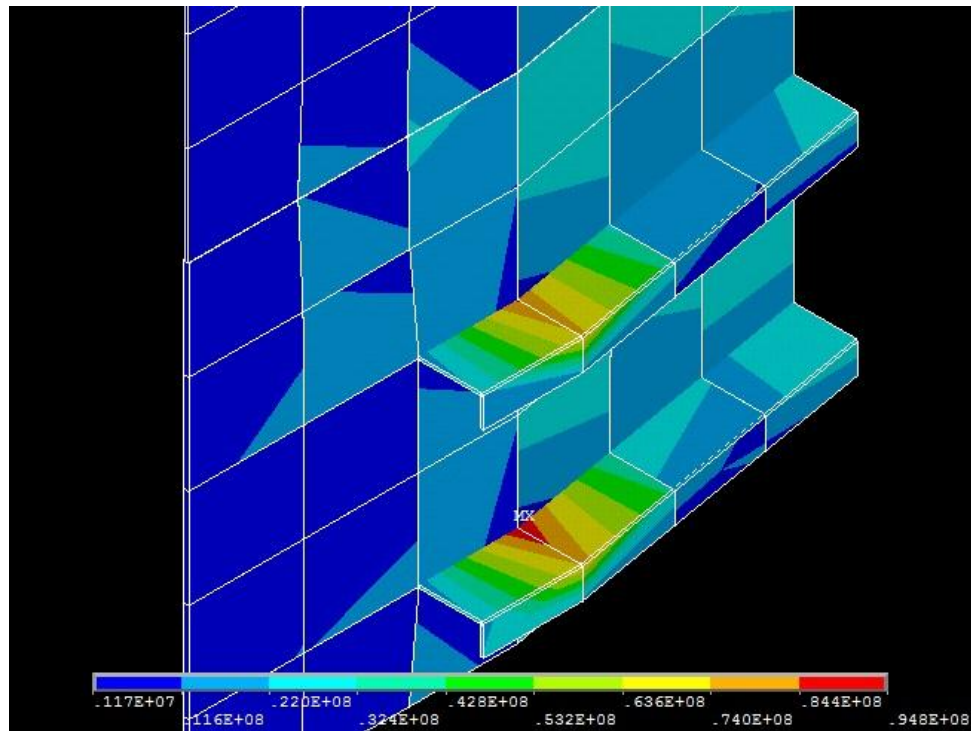
Lokasi Tinjauan		O _{4.5m}	O _{9.5m}	F _{6.0m}	F _{9.5m}
Bracket	Node	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
1-A	6312	13.973	35.487	16.191	14.881
5-A	6706	13.345	32.976	15.133	13.522
9-A	7072	11.855	29.972	13.264	12.435
13-A	7438	11.626	31.297	13.006	12.268
17-A	5882	14.597	55.040	16.786	16.503
1-B	9285	0.899	11.897	17.024	15.625
5-B	9667	0.975	12.439	16.005	14.295
9-B	10024	0.818	11.421	13.955	13.026
13-B	10381	0.750	9.546	13.788	12.934
17-B	8907	1.271	6.934	17.191	16.846



Gambar 4.11 Hot-spot Area LC3 pada Kondisi O_{9.5m}

Tabel 4.11 Rekapitulasi Tegangan pada LC 3

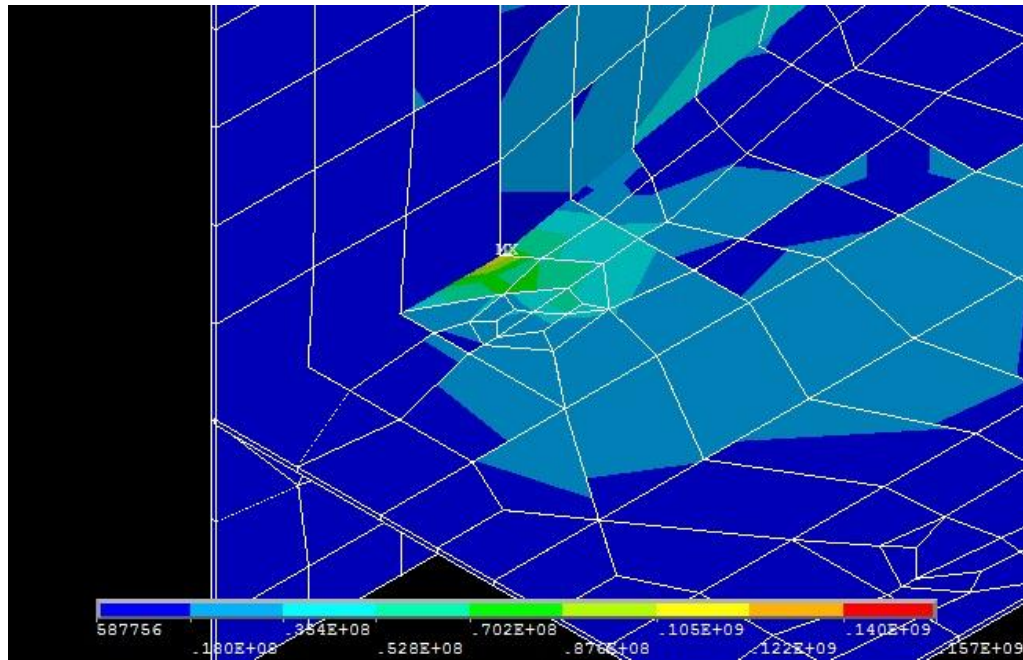
Lokasi Tinjauan		O _{4.5m}	O _{9.5m}	F _{6.0m}	F _{9.5m}
Posisi	Node	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
SL9-B	26994	0.264	2.597	11.373	28.768
SL9-A	25725	0.676	52.462	9.992	25.668
SL6-A	25023	0.550	31.522	0.341	25.966
SL6-B	26290	0.293	4.142	0.156	15.129
SL7-A	25008	0.309	36.860	0.276	28.694
SL7-B	26277	0.216	3.452	0.229	31.305
SL7-A	49354	0.139	16.739	0.115	15.538
SL7-B	49787	0.137	1.993	0.142	15.544
SL7-A	49644	0.327	12.699	0.482	8.919
SL7-A	49571	0.152	1.966	0.295	10.078



Gambar 4.12 Hot-spot Area LC4 pada Kondisi O_{9.5m}

Tabel 4.12 Rekapitulasi Tegangan pada LC 4

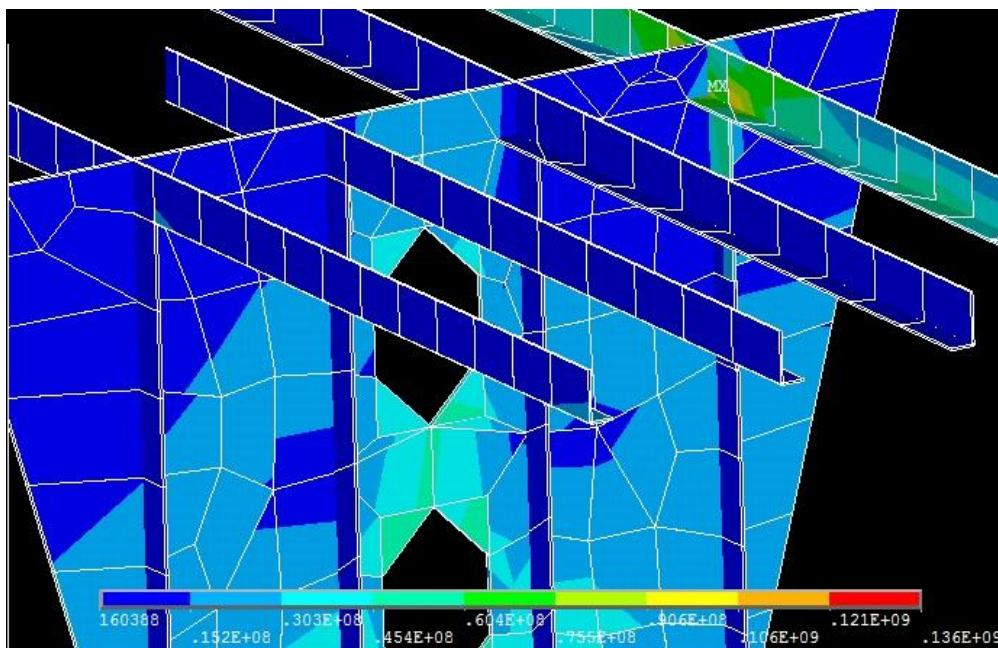
Lokasi Tinjauan		O _{4.5m}	O _{9.5m}	F _{6.0m}	F _{9.5m}
Posisi	Node	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
SL 6-A	39607	0.320	21.010	0.247	19.964
SL 7-A	39694	0.240	24.906	0.201	21.008
SL 8-A	32977	0.623	39.977	3.490	19.109
SL 9-A	33059	0.640	41.361	7.254	20.738
SL 6-B	40506	0.404	5.586	0.094	22.788
SL 7-B	40549	0.078	1.245	0.255	23.843
SL 8-B	33889	0.386	4.452	4.847	21.811
SL 9-B	33932	0.337	3.130	7.395	21.019



Gambar 4.13 Hot-spot Area LC5 pada Kondisi O_{9.5m}

Tabel 4.13 Rekapitulasi Tegangan pada LC 5

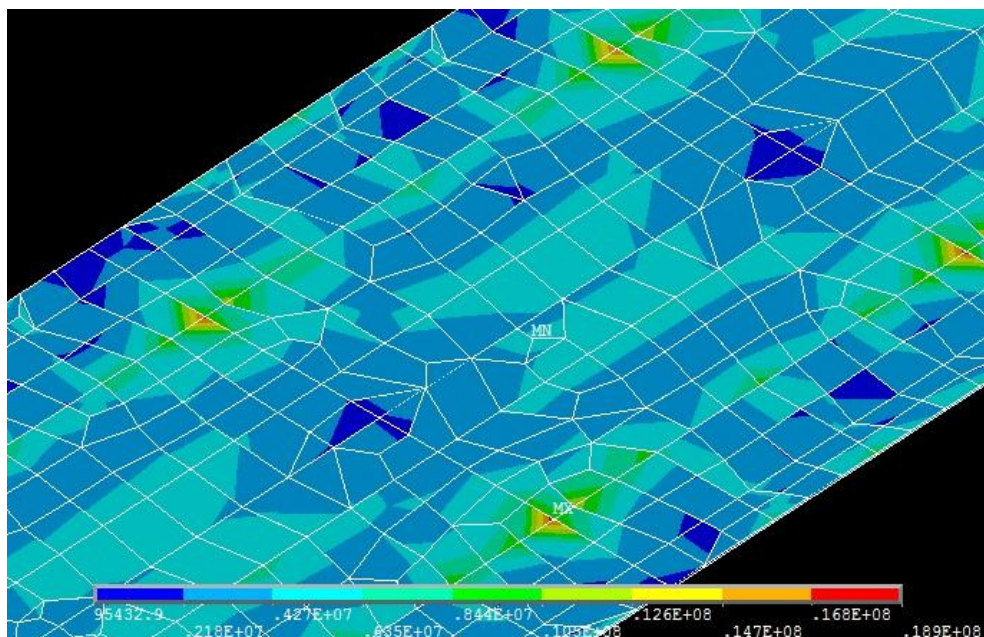
Lokasi Tinjauan		O _{4.5m}	O _{9.5m}	F _{6.0m}	F _{9.5m}
Posisi	Node	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
D4-A	30989	4.681	24.122	7.199	5.345
D4-A	6226	1.835	22.488	6.247	10.105
D4-A	11806	1.735	21.357	6.013	9.023
D4-A	32195	11.196	90.892	5.134	3.393
D4-A	12124	1.073	17.595	5.059	7.766
D4-B	12484	0.562	6.609	6.391	9.452
D4-B	8889	0.219	1.829	5.472	8.768
D4-B	9251	0.512	5.874	5.446	8.847
D4-B	12676	0.504	6.020	5.168	8.038
D4-B	13519	0.530	6.712	4.635	6.892



Gambar 4.14 Hot-spot Area LC6 pada Kondisi O_{9.5m}

Tabel 4.14 Rekapitulasi Tegangan pada LC 6

Lokasi Tinjauan		O _{4.5m}	O _{9.5m}	F _{6.0m}	F _{9.5m}
Posisi	Node	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
DL4-A2	18473	17.758	63.583	26.496	24.753
DL4-A2	18492	26.149	97.711	39.910	38.158
DL4-A2	18380	26.447	97.591	40.038	38.231
DL4-A2	18569	26.469	102.080	40.094	38.591
DL4-A2	18426	22.535	81.877	35.272	33.330
DL4-B2	19432	0.857	12.102	27.371	25.520
DL4-B2	19453	1.357	17.754	41.156	39.254
DL4-B2	19354	1.343	19.068	41.500	39.498
DL4-B2	19542	1.296	15.699	41.772	40.063
DL4-B2	19396	2.206	21.423	36.043	34.021



Gambar 4.15 Hot-spot Area LC7 pada Kondisi F_{9.5m}

Tabel 4.15 Rekapitulasi Tegangan pada LC 7

Lokasi Tinjauan		O _{4.5m}	O _{9.5m}	F _{6.0m}	F _{9.5m}
Posisi	Node	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)	σ (N/mm ²)
DL4-A2	19132	19.143	70.411	28.956	27.348
DL4-A2	18397	18.109	67.221	27.358	25.830
DL4-A2	19168	18.157	66.811	27.356	25.822
DL4-A2	18389	17.660	66.516	26.754	25.609
DL4-A2	19174	17.913	68.315	26.920	25.497
DL4-B2	20089	0.834	11.210	29.918	28.282
DL4-B2	20165	1.567	15.272	24.500	22.932
DL4-B2	20123	0.881	11.367	28.574	26.909
DL4-B2	20131	0.771	9.626	28.369	26.795
DL4-B2	19371	0.828	11.189	28.140	26.507

4.3.2 Nilai Rentang Tegangan ($\Delta\sigma$) pada Tiap Sambungan

Nilai $\Delta\sigma$ digunakan untuk menghitung kerusakan akibat kelelahan (*cumulative fatigue damage*). Nilai $\Delta\sigma$ merupakan selisih dari nilai tegangan maksimum dan tegangan minimum yang terjadi pada sambungan tersebut. Rekapitulasi nilai $\Delta\sigma$ tiap sambungan terdapat pada **Tabel 4.16** sampai **Tabel 4.22**.

Tabel 4.16 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC 1

Lokasi Tinjauan		Range		$\Delta\sigma$ (N/mm ²)
Sekat Melintang	Node	σ_{MIN} (N/mm ²)	σ_{MAX} (N/mm ²)	
0	28286	0.167	131.160	130.993
4	29268	0.768	214.280	213.512
8	28644	0.479	211.580	211.101
12	29798	1.037	198.550	197.513
16	28354	0.725	153.370	152.645
20	29585	4.239	96.879	92.641
END	48471	0.284	15.515	15.231

Tabel 4.17 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC 2

Lokasi Tinjauan		Range		$\Delta\sigma$ (N/mm ²)
Bracket	Node	σ_{MIN} (N/mm ²)	σ_{MAX} (N/mm ²)	
1-A	6312	13.973	35.487	21.514
5-A	6706	13.345	32.976	19.631
9-A	7072	11.855	29.972	18.117
13-A	7438	11.626	31.297	19.671
17-A	5882	14.597	55.040	40.443
1-B	9285	0.899	17.024	16.125
5-B	9667	0.975	16.005	15.030
9-B	10024	0.818	13.955	13.137
13-B	10381	0.750	13.788	13.038
17-B	8907	1.271	17.191	15.920

Tabel 4.18 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC 3

Lokasi Tinjauan		Range		$\Delta\sigma$ (N/mm ²)
Posisi	Node	σ_{MIN} (N/mm ²)	σ_{MAX} (N/mm ²)	
SL9-B	26994	0.264	28.768	28.504
SL9-A	25725	0.676	52.462	51.786
SL6-A	25023	0.341	31.522	31.181
SL6-B	26290	0.156	15.129	14.973
SL7-A	25008	0.276	36.860	36.584
SL7-B	26277	0.216	31.305	31.089
SL7-A	49354	0.115	16.739	16.624
SL7-B	49787	0.137	15.544	15.407
SL7-A	49644	0.327	12.699	12.372
SL7-A	49571	0.152	10.078	9.926

Tabel 4.19 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC 4

Lokasi Tinjauan		Range		$\Delta\sigma$ (N/mm ²)
Posisi	Node	σ_{MIN} (N/mm ²)	σ_{MAX} (N/mm ²)	
SL 6-A	39607	0.247	21.010	20.763
SL 7-A	39694	0.201	24.906	24.705
SL 8-A	32977	0.623	39.977	39.354
SL 9-A	33059	0.640	41.361	40.721
SL 6-B	40506	0.094	22.788	22.694
SL 7-B	40549	0.078	23.843	23.765
SL 8-B	33889	0.386	21.811	21.425
SL 9-B	33932	0.337	21.019	20.682

Tabel 4.20 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC 5

Lokasi Tinjauan		Range		$\Delta\sigma$ (N/mm ²)
Posisi	Node	σ_{MIN} (N/mm ²)	σ_{MAX} (N/mm ²)	
D4-A	30989	4.681	24.122	19.441
D4-A	6226	1.835	22.488	20.653
D4-A	11806	1.735	21.357	19.622
D4-A	32195	3.393	90.892	87.500
D4-A	12124	1.073	17.595	16.522
D4-B	12484	0.562	9.452	8.889
D4-B	8889	0.219	8.768	8.549
D4-B	9251	0.512	8.847	8.334
D4-B	12676	0.504	8.038	7.534
D4-B	13519	0.530	6.892	6.362

Tabel 4.21 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC 6

Lokasi Tinjauan		Range		$\Delta\sigma$ (N/mm ²)
Posisi	Node	σ_{MIN} (N/mm ²)	σ_{MAX} (N/mm ²)	
DL4-A2	18473	17.758	63.583	45.825
DL4-A2	18492	26.149	97.711	71.562
DL4-A2	18380	26.447	97.591	71.144
DL4-A2	18569	26.469	102.080	75.611
DL4-A2	18426	22.535	81.877	59.342
DL4-B2	19432	0.857	27.371	26.514
DL4-B2	19453	1.357	41.156	39.799

DL4-B2	19354	1.343	41.500	40.157
DL4-B2	19542	1.296	41.772	40.476
DL4-B2	19396	2.206	36.043	33.837

Tabel 4.22 Rekapitulasi $\Delta\sigma$ pada LC7

Lokasi Tinjauan		Range		$\Delta\sigma$ (N/mm ²)
Posisi	Node	σ_{MIN} (N/mm ²)	σ_{MAX} (N/mm ²)	
DL4-A2	19132	19.143	70.411	51.268
DL4-A2	18397	18.109	67.221	49.112
DL4-A2	19168	18.157	66.811	48.654
DL4-A2	18389	17.660	66.516	48.856
DL4-A2	19174	17.913	68.315	50.402
DL4-B2	20089	0.834	29.918	29.084
DL4-B2	20165	1.567	24.500	22.933
DL4-B2	20123	0.881	28.574	27.693
DL4-B2	20131	0.771	28.369	27.598
DL4-B2	19371	0.828	28.140	27.312

4.4 Akumulasi Kerusakan Akibat Kelelahan (*Cumulative Fatigue Damage/ D_{fat}*)

Perhitungan akumulasi kerusakan akibat kelelahan (D_{fat}) dilakukan dengan menggunakan Metode *Simplified Fatigue Assessment* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. D_{fat} dihitung pada tiap *node* sambungan yang ditinjau sehingga menghasilkan D_{fat} masing-masing sambungan yang nantinya akan menjadi umur masing-masing sambungan. Untuk perhitungan umur masing-masing sambungan dijelaskan pada subbab berikutnya. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan D_{fat} adalah sebagai berikut :

$$D_{fat} = \frac{N_0}{K_2} \left[\frac{S_0^\xi}{\ln N_0} \right]^{m/\xi} \Gamma \left(1 + \frac{m}{\xi} \right)$$

Dimana :

N_0 = Total jumlah siklus dalam periode jangka panjang selama masa hidup
= 1.236×10^8 siklus

$$S_0 = \Delta\sigma$$

= Rentang tegangan maksimum tiap sambungan dalam setiap N_0 cycles

ξ = Parameter bentuk dari distribusi *Weibull* untuk siklus tegangan berulang

$$= 1.171$$

K_2 = Parameter sambungan dari S-N Curve

$$= 1.040 \times 10^{12} \text{ untuk klas sambungan E}$$

$$= 0.63 \times 10^{12} \text{ untuk klas sambungan F}$$

m = Parameter sambungan dari S-N Curve

$$= 3.0 \text{ untuk welded joint}$$

Γ = Gamma function

$$= 3.563$$

Dalam proses perhitungan terdapat dua variabel baru yaitu faktor f dan D' yang akan dijelaskan sebagai berikut :

- a. **faktor f** , merupakan faktor probabilitas terjadinya $\Delta\sigma$ pada tiap node yang ditinjau di tiap sambungan. Faktor f diperlukan karena terdapat empat nilai tegangan dalam satu *node* di tiap sambungan. Nilai $\Delta\sigma$ merupakan selisih dua nilai tegangan yaitu tegangan maksimum dan tegangan minimum pada *node* yang ditinjau. Nilai dari faktor f bergantung pada lamanya *graving dock* beroperasi atau tidak selama *design life*-nya. Diasumsikan *graving dock gate* beroperasi selama 15 hari dan tidak beroperasi selama satu hari. Sehingga total waktu dalam satu kali periode operasional adalah 16 hari. Siklus tersebut berulang selama *design life*-nya, yaitu 25 tahun. Maka didapat nilai sebagai faktor f sebagai berikut,

- $f = \frac{15}{16} = 0.9375$, untuk nilai $\Delta\sigma$ yang terjadi saat *graving dock* beroperasi
- $f = \frac{1}{16} = 0.0625$, untuk nilai $\Delta\sigma$ yang terjadi saat *graving dock* beroperasi ke

tidak beroperasi atau sebaliknya

- b. **D'**, merupakan nilai akumulasi kerusakan akibat kelelahan yang sudah dipengaruhi nilai dari faktor *f*. Dengan persamaan sebagai berikut :

$$D' = D_{fat} \cdot f$$

D_{fat} yang digunakan untuk perhitungan umur kelelahan (*fatigue life*) adalah akumulasi dari nilai D' di tiap sambungan. Rekapitulasi nilai D' pada tiap sambungan ditunjukkan oleh **Tabel 4.23**. Untuk detail perhitungan D' pada tiap sambungan terdapat pada **Lampiran E**.

Tabel 4.23 Rekapitulasi Nilai D' untuk Tiap Sambungan

Notasi	Lokasi Sambungan	D'
LC1	Antara sekat melintang & pelat sisi	8.122 E-01
LC2	Antara <i>bracket & ordinary frame</i>	2.169 E-02
LC3	Antara <i>transverse stiffeners & side longitudinal</i>	4.328 E-02
LC4	Antara <i>side longitudinal</i> & pelat sisi	4.844 E-02
LC5	Antara pelat deck 4 & pelat sisi	2.661 E-02
LC6	Antara deck 4 <i>longitudinal</i> & penegar sekat melintang	3.267 E-01
LC7	Antara pelat deck 4 & deck 4 <i>longitudinal</i>	2.257 E-01

4.5 *Fatigue Life*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa nilai D' digunakan untuk perhitungan umur kelelahan (*fatigue life*). Umur kelelahan yang didapat harus mendekati atau lebih besar dari *design life*, dalam hal ini *design life graving dock gate* yaitu 25 tahun. Berikut persamaannya :

$$fatigue\ life = \frac{Design\ Life}{D_{fat}'}$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, maka akan didapat umur kelelahan (*fatigue life*) dari setiap sambungan struktur yang ditunjukkan **Tabel 4.24**.

Tabel 4.24 Rekapitulasi Umur Lelah (*Fatigue Life*) Tiap Sambungan

Notasi	Lokasi Sambungan	<i>Fatigue Life</i> (tahun)
LC1	Antara sekat melintang & pelat sisi	30.78
LC2	Antara <i>bracket & ordinary frame</i>	1152.546
LC3	Antara <i>transverse stiffeners & side longitudinal</i>	577.607
LC4	Antara <i>side longitudinal</i> & pelat sisi	516.095
LC5	Antara pelat deck 4 & pelat sisi	939.514
LC6	Antara deck 4 <i>longitudinal</i> & penegar sekat melintang	76.516
LC7	Antara pelat deck 4 & deck 4 <i>longitudinal</i>	110.766

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pemodelan, perhitungan dan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. *Graving dock gate* dianggap memenuhi jika memiliki nilai tegangan maksimum yang terjadi tidak melebihi nilai tegangan ijin. Dalam penelitian ini nilai tegangan ijin diambil sama dengan nilai R_{EH} material ASTM A36 sebesar 235 N/mm^2 , artinya nilai *safety factor* $SF = 1$. Sedangkan pada desain awal *graving dock gate* mengalami tegangan maksimum sebesar 348 N/mm^2 . Oleh sebab itu dilakukan revisi ukuran struktur di beberapa lokasi sehingga didapat nilai tegangan maksimum yang dialami *graving dock gate* sebesar 230 N/mm^2 . Dengan kondisi struktur seperti itu, kekuatan *graving dock gate* telah memenuhi persyaratan.
2. Dalam Metode *Simplified Fatigue Life Assessment* yang digunakan untuk menghitung D_{fat} memiliki tahapan sebagai berikut :
 - Jenis sambungan dan klas sambungan struktur harus diketahui agar bisa didapat nilai K_2 yang terdapat pada Desain *S-N Curve* IACS tahun 2010.
 - Dihitung nilai tegangan yang dialami tiap sambungan pada setiap kondisi pembebanan sehingga didapat nilai *stress range* ($\Delta\sigma$ atau S_0). Perlu dianalisa nilai *stress range* terjadi pada sambungan tersebut.
 - Nilai-nilai dari varibael lain yang mendukung proses perhitungan diinputkan sehingga didapat nilai *cumulative fatigue damage* (D_{fat})
 - *Cumulative fatigue damage* digunakan untuk mendapatkan umur kelelahan (*fatigue life*) dari sambungan tersebut.
3. Faktor f , merupakan faktor probabilitas terjadinya *stress range* ($\Delta\sigma$) pada sebuah sambungan. Selain distribusi Weibull, nilai dari faktor f sangat berpengaruh terhadap hasil perhitungan umur kelelahan (*fatigue life*).

4. *Graving dock gate* didesain dengan *design life* selama 25 tahun dan memiliki umur lelah sambungan terkecil pada sambungan sekat melintang dan pelat sisi yaitu 30.78 tahun.

5.2 Saran

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan dan kesimpulan yang didapat dalam penulisan Tugas Akhir ini, maka diberikan saran-saran sebagai berikut :

1. Modifikasi atau revisi desain *graving dock gate* bisa dilakukan dengan cara lain, tidak hanya dengan cara mengganti tebal pelat struktur.
2. Perlu dilakukan pembahasan lebih mendalam tentang faktor f agar didapat hasil umur kelelahan (*fatigue life*) yang lebih akurat.
3. Perlu dilakukan analisa laju korosi sehingga bisa diketahui kapan *graving dock gate* harus di-*repair*.

LAMPIRAN GAMBAR DAN PERHITUNGAN

No	Uraian	Lampiran
1	Desain Revisi <i>Graving Dock Gate</i>	A
2	Perhitungan Berat Struktur <i>Graving Dock Gate</i>	B
	• Perhitungan Berat Struktur Desain Awal <i>Graving Dock Gate</i>	B1
	• Perhitungan Berat Struktur Desain Revisi <i>Graving Dock Gate</i>	B2
3	Perhitungan Stabilitas Struktur <i>Graving Dock Gate</i>	C
	• Perhitungan Stabilitas Desain Awal <i>Graving Dock Gate</i>	C1
	• Perhitungan Stabilitas Desain Revisi <i>Graving Dock Gate</i>	C2
4	Perhitungan Beban Hidrostatik <i>Graving Dock Gate</i>	D
	• Perhitungan Beban Hidrostatik Desain Awal <i>Graving Dock Gate</i>	D1
	• Perhitungan Beban Hidrostatik Desain Revisi <i>Graving Dock Gate</i>	D2
5	Perhitungan Detail <i>Cumulative Fatigue Damage</i> (D') dengan Metode <i>Simplified Fatigue Life Assessment</i>	E E1 s/d E7

DAFTAR PUSTAKA

- ANSYS. (2009). *Basic Analysis Guide*. Canonsburg: ANSYS INC.
- Bai, Y. (2003). *Marine Structural Design*. Oxford: Elsevier.
- BKI. (2014). *Volume II : Rules for Hull Seagoing Steel Ships*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Blakogevic, B., & Domazet, Z. (2010). *Simplified Procedures for Fatigue Assessment of Ship Structures*. Split: University of Split.
- Cornick, H. F. (1968). *Dock and Harbour Engineering*. London: Charles Griffin & Company Ltd.
- Darmawan, R. H. (2015). *Analisis Fatigue Life pada Struktur Sekat Tangki Ruang Muat Kapal LNG "LNGC DISHA" Akibat Beban Sloshing Terhadap Gerakan Pitching Menggunakan Finite Element Method (FEM)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- IACS. (2010). *Common Structural Rules for Double Hull Oil Tanker*. London: IACS Council.
- Kurnianto, P. (2012). *Perkiraan Umur Konstruksi FPSO Konversi dari Tanker dengan Analisis Fatigue*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Lassen, T., & Recho, N. (2006). *Fatigue Life Analyses of Welded Structures*. London: ISTE Ltd.
- Logan, D. L. (2007). *A First Course in the Finite Element Method, Fourth Edition*. Kanada: Thomson.
- Ramadhan, A. (2010). *Analisa Kekuatan Memanjang Double Hull CPO Barge Pengaruh Heaving-Pitching Couple dan Distribusi Beban*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Tawekal, R. L. (2010). *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Wægter, J. (2009). *Fatigue Design Based on S-N Data*.

Yugiarto, A. (2014). *Perhitungan Fatigue Life Kapal Tanker Single Hull Diatas 20.000 DWT yang Beroperasi di Indonesia Lebih dari 15 Tahun pada Tahun 2012*.
Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Pekanbaru, 29 Januari 1993 sebagai anak ke-2 dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Islam As-Shofa Pekanbaru, SMP Islam As-Shofa Pekanbaru, dan SMAN 8 Pekanbaru. Setelah lulus pada tahun 2011, penulis melanjutkan studinya di Program Sarjana Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS melalui jalur SNMPTN Undangan. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT. Waruna Nusa Sentana Belawan (Juni - Juli 2014) dan PT. F1 Perkasa Banyuwangi (Januari - Februari 2015). Selain itu, penulis juga pernah aktif dalam kegiatan mahasiswa diantaranya menjadi Ketua Pelaksana NASDARC SAMPAN 7 ITS (2012-2013), menjadi Anggota Tim Konseptor NASDARC SAMPAN 8 ITS (2013-2014), serta menjadi Anggota *Steering Committee* Kaderisasi HIMATEKPAL 2013/2014. Penulis memiliki ketertarikan pada bidang kontruksi sehingga mengambil Rekayasa Perkapalan bidang keahlian Konstruksi dan Kekuatan Kapal sebagai bidang studinya. Oleh karena itu, penulis mengambil penelitian dengan judul “Analisa *Fatigue Life Graving Dock Gate* dengan Metode *Simplified*” sebagai tugas akhirnya.

Email : eky.setiahadi@gmail.com